

# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



## ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**“ Αποτίμηση επίδοσης πρωτοκόλλων δρομολόγησης σε δίκτυα  
αισθητήρων τοπολογίας MANET ”**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Jean Yaokeli Likoke**

Επιβλέπων: Ιάκωβος Βενιέρης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάιος 2011

# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



## ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**“ Αποτίμηση επίδοσης πρωτοκόλλων δρομολόγησης σε δίκτυα  
αισθητήρων τοπολογίας MANET ”**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Jean Yaokeli Likoke**

**Επιβλέπων:** Ιάκωβος Βενιέρης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

**Τρίμελης επιτροπή:** Ι. Βενιέρης  
Καθηγητής  
Ε.Μ.Π

Δ. Θ. Ι. Κακλαμάνη  
Καθηγήτρια  
Ε.Μ.Π

Νικόλαος Ουζούνογλου  
Καθηγητής  
Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάιος 2011

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο **Ιάκωβο Βενιέρη**, για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας και την εμπιστοσύνη που έδειξε στις ικανότητές μου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον διδάκτορα **Βαγγέλη Κοσμάτο**, για όλη την βοήθεια, την συνεργασία, την στήριξη και την κατανόηση που μου έδειξε κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής, το ενδιαφέρον που έδειχνε σε όλες τις συναντήσεις μας και το υλικό που μου παρείχε.

Οι πολύτιμες συμβουλές του για τυχόν λάθη ή παραλείψεις μου, με βοήθησαν πάρα πολύ να τελειώσω την εργασία έγκαιρα, καλύπτοντας όλους τους στόχους που μαζί θέσαμε εξ'αρχής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου (**Darius** και **Charlotte**), καθώς και τους συμφοιτητές και φίλους, που με στήριξαν κατά την διάρκεια της διπλωματικής εργασίας, αλλά και καθ'όλη την διάρκεια των σπουδών μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Jean Yaokeli Likoke  
Αθήνα, Μάιος 2011

Je dédie ce travail à mes parents  
qui m'ont toujours soutenu dans mon désir de devenir Ingénieur.

Merci à eux d'avoir fait de moi ce que je suis.

# Περιεχόμενα

---

<b><u>Κεφάλαιο 1</u> Εισαγωγή .....</b>	<b>8</b>
1.1 Εισαγωγή .....	9
1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας .....	10
1.3 Δομή διπλωματικής εργασίας .....	10
<b><u>Κεφάλαιο 2</u> Εισαγωγή στα MANETS δίκτυα .....</b>	<b>11</b>
2.1 Εισαγωγή .....	12
2.2 Χαρακτηριστικά των Manets .....	13
2.2.1 Δυναμικές τοπολογίες .....	14
2.2.2 Ζεύξεις περιορισμένου εύρους ζώνης Και μεταβλητής χωρητικότητας .....	15
2.2.3 Λειτουργία με περιορισμένη ενέργεια Τροφοδοσίας .....	15
2.2.4 Περιορισμένη ασφάλεια του φυσικού Μέσου μετάδοσης (physical layer) .....	15
2.2.5 Πρόσβαση στον κοινό δίαυλο .....	15
2.3 Εφαρμογές .....	17
<b><u>Κεφάλαιο 3</u> Δρομολόγηση .....</b>	<b>20</b>
3.1 Δρομολόγηση στα Ad Hoc δίκτυα .....	21
3.1.1 Γενικά στοιχεία και ορισμοί .....	21
3.1.2 Τρόπος δρομολόγησης .....	21
3.1.3 Reactive πρωτοκόλλων δρομολόγησης .....	23
3.2 Δρομολόγηση στα δίκτυα αισθητήρων .....	30
<b><u>Κεφάλαιο 4</u> Πρόγραμμα προσομοίωσης OPNET modeler .....</b>	<b>32</b>
4.1 Εισαγωγή .....	33
4.2 Χρήση του OPNET modeler .....	33
4.3 Διαδικασία ανάπτυξης δικτύων .....	33
4.3.1 Δημιουργία ενός μοντέλου .....	34
4.3.2 Επιλογή στατιστικών .....	35
4.3.3 Προσομοίωση .....	36
4.3.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης .....	36
4.4 ON/OFF Μοντέλο ανάπτυξης .....	37
4.4.1 Περιγραφή του ON/OFF Μοντέλου .....	37
4.4.2 Διαδικασία δημιουργίας ON/OFF Μοντέλου .....	38

---

<b><u>Κεφάλαιο 5</u></b>	<b>Ανάλυση των Προσομοιωτικών</b>	
	<b>Αποτελεσμάτων .....</b>	<b>43</b>
5.1	Περιγραφή σεναρίου .....	44
5.2	Πρώτο σενάριο .....	45
1 <sup>ο</sup>	μέρος .....	45
2 <sup>ο</sup>	μέρος .....	55
3 <sup>ο</sup>	μέρος .....	77
5.3	Δεύτερο σενάριο .....	93
1 <sup>ο</sup>	μέρος .....	93
2 <sup>ο</sup>	μέρος .....	106
3 <sup>ο</sup>	μέρος .....	128
<b><u>Κεφάλαιο 6</u></b>	<b>Συμπεράσματα .....</b>	<b>144</b>
6.1	Συμπεράσματα .....	145
6.2	Μελλοντική μελέτη .....	146
	<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>147</b>

---

# Πίνακας Σχημάτων

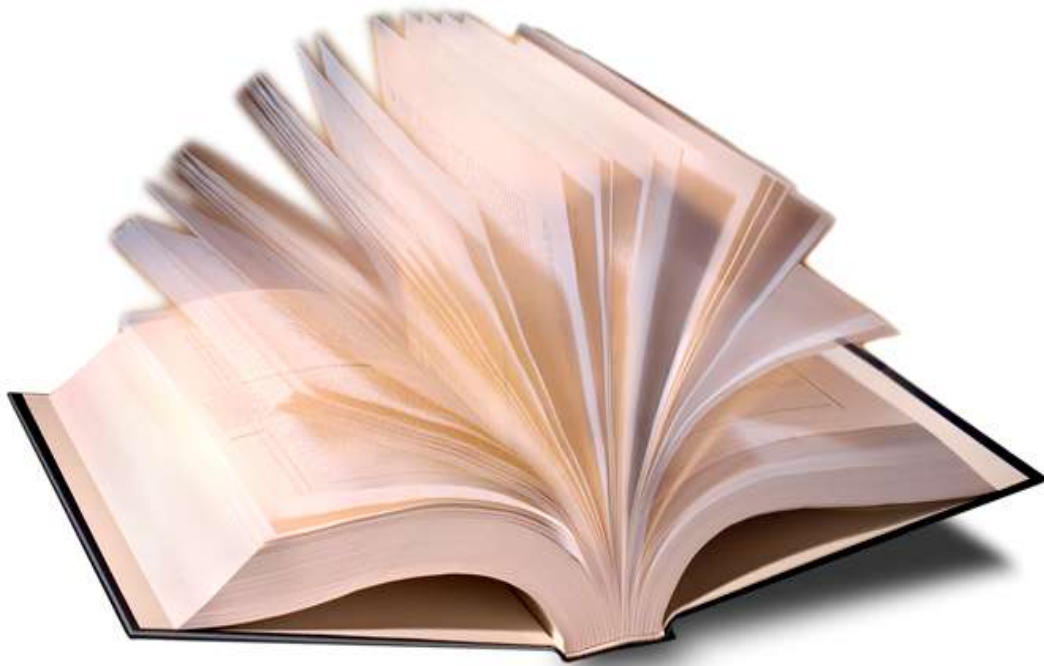
---

Σχήμα 2.1 Manet δίκτυα .....	12
Σχήμα 2.2 Υποψήφιες εφαρμογές των Manet .....	14
Σχήμα 2.3 Αλλαγές στην τοπολογία του Manet δικτύου .....	15
Σχήμα 2.4 Hidden terminal problem .....	16
Σχήμα 2.5 Exposed terminal problem .....	16
Σχήμα 2.6 Έλεγχος συμφόρησης στο αδικό δίκτυο .....	17
Σχήμα 2.7 Στρατιωτικές εφαρμογές του Manet .....	18
Σχήμα 3.1 Διαφορές Single-hop και multi-hop δικτύων .....	21
Σχήμα 3.2 Κατηγορίες πρωτοκόλλων δρομολόγησης στα Manets δίκτυα .....	22
Σχήμα 3.3 Routes Updates .....	23
Σχήμα 3.4 RREQ και RREP μηνύματα .....	25
Σχήμα 3.5 Route discovery procedure in Manet using DSR (RREQ messages) .....	28
Σχήμα 3.6 Route discovery procedure in Manet using DSR (RREP message) .....	29
Σχήμα 3.7 Route discovery in Manet using DSR .....	29
Σχήμα 3.8 Route maintenance procedure in Manet using DSR .....	30
Σχήμα 4.1 Τα τέσσερα στάδια του OPNET .....	34
Σχήμα 4.2 Προφίλ μοντέλου ασύρματου δικτύου .....	35
Σχήμα 4.3 OPNET results browser .....	36
Σχήμα 4.4 ON/OFF state transition diagram .....	37
Σχήμα 4.5 ON/OFF state transitions with an ON timer of 5 seconds .....	37
Σχήμα 4.6 Configuring Parameters in the Task Configuration Object .....	39
Σχήμα 4.7 Configuring Parameters in the Application Definition Object .....	40
Σχήμα 4.8 Configuring Parameters in the Profile Configuration Object .....	41
Σχήμα 4.9 Deploying defined Profil in Source node .....	42
Σχήμα 5.1 Πρότυπο δικτύου .....	44

---

## Κεφάλαιο 1

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ



---

### Περιεχόμενα :

- 1.1 Εισαγωγή
  - 1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας
  - 1.3 Δομή διπλωματικής εργασίας
-



## 1. Εισαγωγή

Πρόσφατα αυξήθηκε το ενδιαφέρον για τα κινητά Ad hoc δίκτυα (Mobile Ad Hoc Networks, MANET), λόγω της δυνατότητάς τους να διευκολύνουν την ανάπτυξη του δικτύου και να επιτρέπουν σε σταθμούς με ασύρματη διεπαφή να περιφέρονται ελεύθερα και να επικοινωνούν μεταξύ τους, χωρίς να εξαρτώνται από την δικτυακή υποδομή.

Ένα κινητό Ad hoc δίκτυο (Manet) είναι ένα σύνολο από ασύρματους κινητούς κόμβους, οι οποίοι σχηματίζουν ένα δυναμικό αυτόνομο δίκτυο. Σε ένα τέτοιο δίκτυο, κάθε κόμβος λειτουργεί ταυτόχρονα ως δρομολογητής και ως κόμβος υποδοχής.

Τα χαρακτηριστικά των σύγχρονων συστημάτων είναι η δυνατότητα να επικοινωνούν μέσω του δικτύου και να προσαρμόζονται σε διαφορετικό περιβάλλον λειτουργίας. Στις μέρες μας, στα περισσότερα σύγχρονα συστήματα χρησιμοποιούνται αισθητήρες για την παροχή πληροφοριών σχετικά με τις παραμέτρους λειτουργίας τους.

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (Sensor Network) είναι ένα δίκτυο που αποτελείται από αυτόνομες συσκευές κατανεμημένες στο χώρο, οι οποίες χρησιμοποιούν αισθητήρες με σκοπό την συλλογική απεικόνιση φυσικών ή περιβαλλοντολογικών μεγεθών (π.χ η προβλέψη της θερμοκρασίας σε διάφορες τοποθεσίες). Είναι δηλαδή ένας συνδυασμός ενός ασύρματου δικτύου επικοινωνίας μικρής εμβέλειας μαζί με κάποιας μορφής αισθητηριακές λειτουργικότητες, οι οποίες εύκολα ενσωματώνονται στο φυσικό μας περιβάλλον.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων υλοποιούνται με την ανάπτυξη πολλών αισθητήρων πεπερασμένης διαθέσιμης ενέργειας σε μια γεωγραφική περιοχή, χωρίς καμία εκ των προτέρων εγκατεστημένη δικτυακή υποδομή και γνώση της τοπολογίας, και αποτελούνται από εύελικτες συσκευές δικτύωσης, δίνοντας την δυνατότητα στους χρήστες για «κίνηση» μέσα σε τεράστια, ετερογενή δίκτυα και για πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και υπηρεσιών, ανεξάρτητα από την θέση, την ώρα, την γλώσσα, και την ικανότητα τους να «βλέπουν» ή να «ακούνε». Ο αντίκτυπος στην κοινωνία είναι αισθητός, μιας και προσφέρουν άμεση επαφή με το περιβάλλον εφαρμογής, μικρή διαταραχή στο περιβάλλον, δυνατότητα επαναλαμβανόμενων μετρήσεων στο πεδίο χωρίς ανθρώπινη παρουσία, ενώ αποτελούν ταυτόχρονα μια οικονομική μέθοδο για μακροχρόνια συλλογή στοιχείων. Χρησιμοποιούνται σήμερα σε ευρεία κλίμακα για την παρακολούθηση χώρων, τον έλεγχο της κυκλοφοριακής κίνησης, την συλλογή δεδομένων και την αντιμετώπιση εκτάκτων αναγκών.

Τα δίκτυα αυτά αντιμετωπίζονται με μεγάλο ενδιαφέρον από την ερευνητική κοινότητα τα τελευταία χρόνια. Έχει προταθεί πλήθος από πρωτόκολλα δρομολόγησης πληροφορίας και πιθανές εφαρμογές. Υπάρχει όμως περιορισμός στα διαθέσιμα εργαλεία για την ανάπτυξη εφαρμογών σε τέτοια δίκτυα, το οποίο σημαίνει από την μία περιορισμό των διαθέσιμων δυνατοτήτων στους χρήστες και από την άλλη αυξημένη δυσκολία υλοποίησης κάποιων εφαρμογών.

## **2. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας**

Το θέμα αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι « Αποτίμηση επίδοσης πρωτοκόλλων δρομολόγησης σε δίκτυα αισθητήρων τοπολογίας MANET ».

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία και η μελέτη του **ON/OFF** μοντέλου κίνησης σε ένα δίκτυο αισθητήρων (Sensor Network ).

Με την βοήθεια του προσομοιωτικού δικτυακού λογισμικού OPNET modeler θα κατασκευάσουμε μια εφαρμογή (Custom Application), η οποία θα ενσωματωθεί σε ορισμένους κινητούς κόμβους (Mobile Sensor nodes) του δικτύου για την δημιουργία, ανά χρονικά διαστήματα, μιας μονοκατευθυντικής κίνησης της μορφής **ON/OFF** (για περισσότερα σχετικά με **ON/OFF** κίνηση, βλέπε κεφάλαιο 4, παράγραφος 4.4) με προορισμό κάποιους επιλεγμένους κινητούς κόμβους.

Θα μελετήσουμε ακόμη την επίδραση των δύο Ad hoc πρωτοκόλλων δρομολόγησης, δηλαδή του πρωτοκόλλου AODV και του DSR, πάνω σε μια τέτοιας μορφής κίνηση. Στο τέλος θα συγκρίνουμε τους δύο τρόπους δρομολόγησης(πρωτόκολλα δρομολόγησης), ώστε να βγάλουμε κάποια συμπεράσματα σχετικά με το κατάλληλο πρωτόκολλο δρομολόγησης για τέτοια μορφή κίνησης.

## **3. Δομή διπλωματικής εργασίας**

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια. Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια γενική περιγραφή των ασύρματων Ad hoc δικτύων(Manets) και δικτύων αισθητήρων(WSNs), το κεφάλαιο 3 σχετίζεται με τη δρομολόγηση στα Manets δίκτυα και γίνεται μια περιγραφή του AODV και του DSR. Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφεται η χρήση του OPNET modeler και αναπτύσσεται το μοντέλο ON/OFF κίνησης. Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται μια ανάλυση της ON/OFF κίνησης, μαζί με την σύγκριση των δύο τρόπων δρομολόγησης. Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται το συμπέρασμα των αποτελεσμάτων.

## Κεφάλαιο 2

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ MANET ΔΙΚΤΥΑ



---

### ✚ Περιεχόμενα :

- 2.1 Εισαγωγή
  - 2.2 Χαρακτηριστικά των Manets
  - 2.3 Εφαρμογές
-



## **2.2 Χαρακτηριστικά των Manets**

### **2.2.1 Δυναμικές τοπολογίες**

### **2.2.2 Ζεύξεις περιορισμένου εύρους ζώνης και μεταβλητής χωρητικότητας**

### **2.2.3 Λειτουργία με περιορισμένη ενέργεια τροφοδοσίας**

### **2.2.4 Περιορισμένη ασφάλεια του φυσικού μέσου μετάδοσης (physical layer)**

### **2.2.5 Πρόσβαση στον κοινό δίαυλο**

## **2.2 Χαρακτηριστικά των Manets**

Η ταχεία ανάπτυξη του διαδικτύου, καθώς και των υπηρεσιών και εφαρμογών του, έχουν οδηγήσει σε μια αυξανόμενη απαίτηση για την δυνατότητα των κόμβων Manet να συνδέονται με το διαδίκτυο και να χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες και τις εφαρμογές του.

Οι κινητές IP διευθύνσεις και τα πρωτόκολλα κινητών IP επιτρέπουν σε έναν κινητό κόμβο που βρίσκεται μέσα στην ακτίνα κάλυψης του σημείου πρόσβασης να έχει άμεση σύνδεση με αυτό και να αλλάζει το σημείο πρόσβασης του χωρίς να χάνει την σύνδεση.

Ένα Manet δίκτυο απαρτίζεται από κινητές μονάδες (π.χ. ένα δρομολογητή με πολλούς hosts και ασύρματες συσκευές, που θα αποκαλούνται κόμβοι ), οι οποίοι κινούνται τυχαία). Αυτοί οι κόμβοι μπορούν να βρίσκονται σε αεροπλάνα, φορητά, αυτοκίνητα, πλοία, ακόμα και πάνω σε ανθρώπους.

Η κινητικότητα των κόμβων αλλάζει δυναμικά την τοπολογία του δικτύου, και όλοι οι κόμβοι που έχουν ασύρματες κάρτες δικτύου μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους ακόμη και αν δεν βρίσκονται σε απόσταση άμεσης επικοινωνίας. Στην περίπτωση αυτή, η επικοινωνία ολοκληρώνεται μέσω ενδιάμεσων κόμβων, οι οποίοι προωθούν τα πακέτα από την πηγή στον προορισμό. Αυτό συνεπάγεται ότι μερικοί από τους κόμβους του Manet πρέπει να μπορούν να συμμετέχουν στην δρομολόγηση των πακέτων από την πηγή στον προορισμό.

Για την υποστήριξη του περιβάλλοντος των Manet, είναι ιδιαίτερης σημασίας η ανάπτυξη των αντίστοιχων πρωτοκόλλων στα διάφορα στρώματα. Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές ερευνητικές εργασίες για τα πρωτόκολλα κάθε στρώματος, το MAC, το στρώμα δικτύου και το στρώμα μεταφοράς.

Όταν χρησιμοποιούνται Manet για υπηρεσίες Internet, τα βασικά πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στο σταθερό Internet, δηλαδή το IP και το TCP, πρέπει να τροποποιηθούν για να είναι δυνατή η υποστήριξη και των κινητών κόμβων. Επειδή όλοι οι κόμβοι είναι κινούμενοι, απαιτείται συχνά η διαδικασία αναδιάρθρωσης των διαδρομών κατά την διάρκεια της μετάδοσης των δεδομένων. Δεν είναι δυνατόν κάθε κόμβος που διαπιστώνει διακοπή διαδρομής να αναλαμβάνει κάθε φορά την προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων. Επιπρόσθετα, οι διακοπές διαδρομών είναι αναπόφευκτα γεγονότα στα Manet, λόγω της ad hoc φύσης τους. Αν, λοιπόν, το γνωστό

TCP εφαρμόζεται ως έχει στα Manet, θα παρατηρηθεί μειωμένη επίδοση, διότι το TCP δεν μπορεί να διακρίνει την συμφόρηση από την διακοπή διαδρομής.



**Σχήμα 2.2 :** Υποψήφιες εφαρμογές των Manets

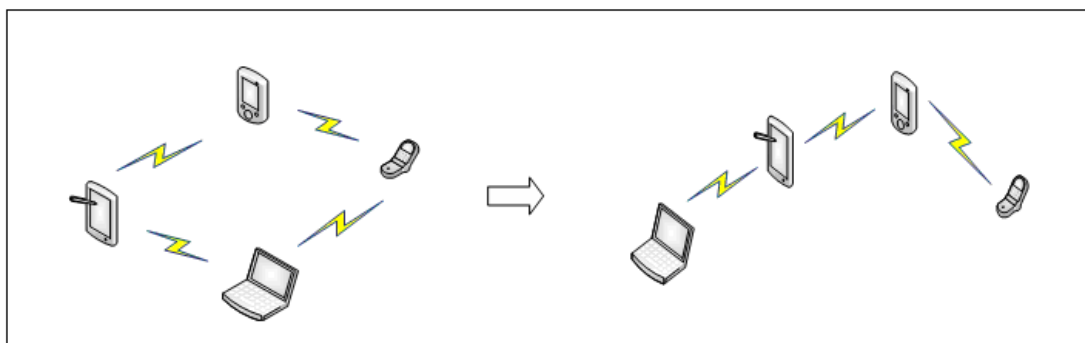
Η απουσία κεντρικής οντότητας στο Manet συνεπάγεται την χρήση κατακευκασμένου πρωτοκόλλου πρόσβασης στο ασύρματο μέσο. Τα ασύγχρονα πρωτόκολλα MAC είναι περισσότερο ελκυστικά για την περίπτωση αυτή, λόγω της κατακευκασμένης λειτουργίας τους και της ευρωστίας τους.

Τα Manets έχουν ορισμένα αξιοπρόσεκτα χαρακτηριστικά όπως :

- ✓ Δυναμικές τοπολογίες
- ✓ Ζεύξεις περιορισμένου εύρους ζώνης και μεταβλητής χωρητικότητας
- ✓ Λειτουργία με περιορισμένη ενέργεια τροφοδοσίας (περιορισμό στην κατανάλωση ενέργειας)
- ✓ Περιορισμένη ασφάλεια του φυσικού μέσου μετάδοσης (physical layer)
- ✓ Πρόσβαση στον κοινό δίαυλο

### 2.2.1 Δυναμικές τοπολογίες

Οι κόμβοι που απαρτίζουν το δίκτυο μετακινούνται αυθαίρετα, και είναι πιθανό να βγουν εκτός λειτουργίας για τυχαίο χρονικό διάστημα. Επομένως, η τοπολογία του δικτύου είναι τυπικά multihop και μπορεί να μεταβληθεί τυχαία και με ταχείς ρυθμούς σε απρόβλεπτους χρόνους, ενώ η ύπαρξη εν τέλει του δικτύου δεν είναι δεδομένη.



**Σχήμα 2.3:** Αλλαγές στην τοπολογία του Manet δικτύου

### 2.2.2 Ζεύξεις περιορισμένου εύρους ζώνης και μεταβλητής χωρητικότητας

Το Manet δίκτυο αποτελεί προέκταση ενός σταθερού συμβατικού δικτύου, με την διαφορά ότι οι ασύρματοι σύνδεσμοι διατηρούν σημαντικά χαμηλότερη χωρητικότητα και απόδοση από τους αντίστοιχους των συμβατικών δικτύων. Οι απαιτήσεις των χρηστών του δικτύου αυτού αυξάνονται καθώς οι αλληλεπιδραστικές εφαρμογές και οι εφαρμογές multimedia αυξάνονται.

Για να αυξηθεί η χωρητικότητα των Manet, να περιορισθεί ο ανταγωνισμός για τον δίαυλο και να επιτευχθεί μικρότερη κατανάλωση ισχύος, διερευνώνται πρωτόκολλα MAC που χρησιμοποιούν κατευθυντικές κεραίες ή ρύθμιση της ισχύος εκπομπής.

### 2.2.3 Λειτουργία με περιορισμένη ενέργεια τροφοδοσίας (περιορισμό στην κατανάλωση ενέργειας)

Κοινό χαρακτηριστικό όλων των συσκευών είναι η δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους, ωστόσο οι διάφορες συσκευές που απαρτίζουν το δίκτυο διαφέρουν σημαντικά στα περισσότερα άλλα χαρακτηριστικά τους, όπως είναι η υπολογιστική ισχύς, η ακτίνα εκπομπής και η διάρκεια ζωής των μπαταριών. Για τις συσκευές που στηρίζονται σε μπαταρίες για την παροχή ενέργειας, το θέμα της διαχείρισης ενέργειας αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα θέματα βελτιστοποίησης κατά το σχεδιασμό του όλου συστήματος.

### 2.2.4 Περιορισμένη ασφάλεια του φυσικού μέσου μετάδοσης (physical layer)

Τα Manet δίκτυα είναι πιο ευάλωτα σε εξωτερικές απειλές απ' ό,τι τα συμβατικά ενσύρματα δίκτυα. Ιδιαίτερα προσοχή θα πρέπει να δοθεί σε θέματα υποκλοπών και επιθέσεων άρνησης υπηρεσίας (Denial of Service ή Dos attacks).

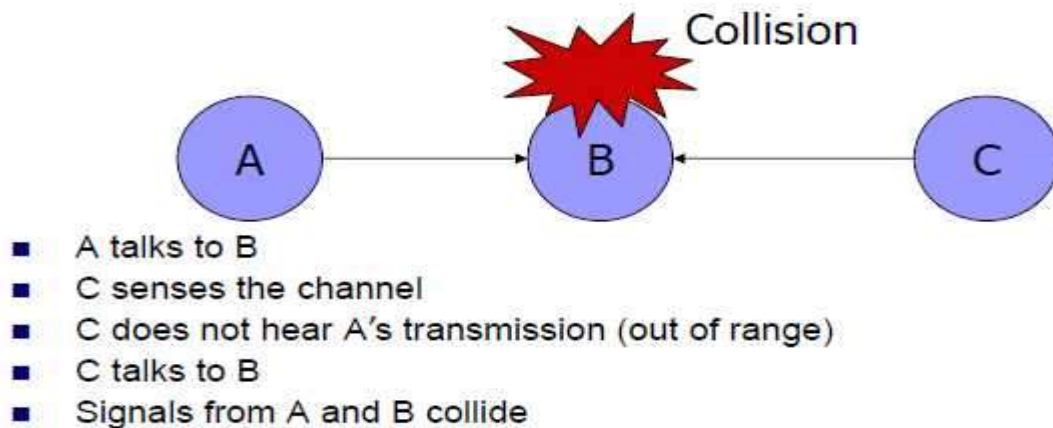
### 2.2.5 Πρόσβαση στον κοινό δίαυλο

Επειδή δεν υπάρχει κάποιος σταθερός σταθμός βάσης, η πρόσβαση στο δίαυλο είναι κατανομημένη, καθιστώντας δύσκολη την αποφυγή των συγκρούσεων μεταξύ πακέτων. Ένας κόμβος δεν μπορεί ταυτόχρονα να στέλνει και να λαμβάνει ένα πακέτο και δεν μπορεί να γίνουν ταυτόχρονα δύο μεταδόσεις σε ένα δίαυλο.

Διάφορες προσεγγίσεις έχουν προταθεί, όπως π.χ το CSMA/CA (που είναι το CSMA με ανίχνευση σύγκρουσης) με την ανταλλαγή των μηνυμάτων RTS και CTS πριν την αποστολή δεδομένων.

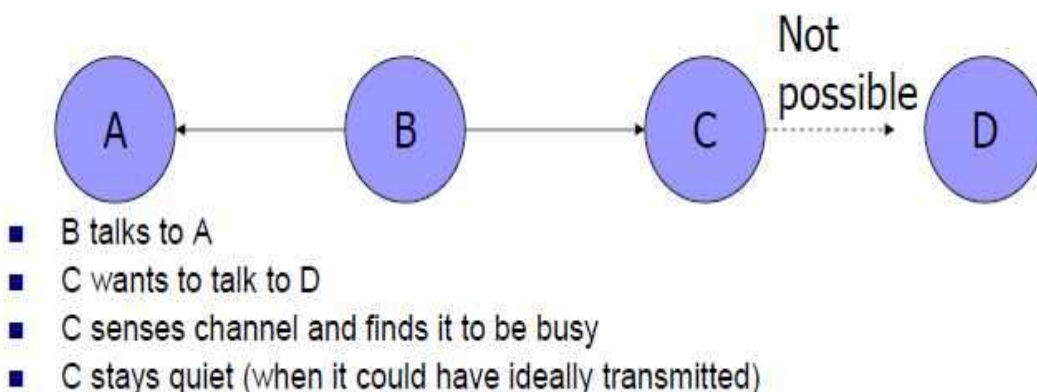


Στην περίπτωση του CSMA, ας θεωρήσουμε ότι ένας κόμβος A θέλει να μεταδώσει σε ένα κόμβο B. Ήδη, όμως, ένας άλλος κόμβος C μεταδίδει προς τον B. Αν ο A ανιχνεύσει το μέσο, δεν θα ακούσει τον C, γιατί είναι εκτός της εμβέλειάς του και θα συμπεράνει λανθασμένα ότι μπορεί να στείλει στον B. Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργηθούν παρεμβολές στον B και τελικά να καταστραφούν τα πακέτα και από τις 2 πηγές. Το πρόβλημα αυτό ονομάζεται “πρόβλημα κρυμμένου τερματικού” (hidden terminal problem) και προκύπτει όταν ένας σταθμός δεν μπορεί να ανιχνεύσει την παρουσία ενός πιθανού ανταγωνιστή για το μέσο, επειδή βρίσκεται εκτός της εμβέλειας του.



**Σχήμα 2.4:** Hidden terminal problem

Μια άλλη περίπτωση του CSMA είναι η λεγόμενη “εκτεθειμένου σταθμού” (exposed terminal problem), όπου ας θεωρήσουμε ότι μεταδίδει ο κόμβος B προς τον κόμβο A. Την ίδια στιγμή, όμως, θέλει να μεταδώσει και ο κόμβος C προς τον D, ωστόσο πραγματοποιώντας ανίχνευση του μέσου ο κόμβος C διαπιστώνει ότι το μέσο είναι κατειλημμένο και έτσι λανθασμένα θεωρεί ότι η μετάδοση προς τον D θα αποτύχει, επομένως περιμένει μέχρι να ελευθερωθεί το μέσο.



**Σχήμα 2.5:** Exposed terminal problem



Άρα, το βασικό μειονέκτημα του CSMA είναι ότι πραγματοποιεί την ανίχνευση του μέσου στον κόμβο που επιθυμεί να πραγματοποιήσει την αποστολή και όχι στον κόμβο που πραγματικά μας ενδιαφέρει να φτάσει σωστά η πληροφορία.

### 2.3 Εφαρμογές

Τα Manet δίκτυα έχουν πρακτική εφαρμογή σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει κάποια σταθερή ενσύρματη δικτυακή υποδομή. Τέτοιες περιπτώσεις έχουμε όταν δεν είναι οικονομικά, τεχνικά ή γεωγραφικά εφικτό να δημιουργηθεί η απαραίτητη υποδομή, ή επειδή οι καταστάσεις δεν επιτρέπουν την εγκατάστασή της (π.χ σε περίπτωση που γίνεται σεισμός και καταστρέφονται οι σταθερές δικτυακές υποδομές ή σε μια πολεμική ζώνη όπου δεν είναι δυνατή η εγκατάσταση μια σταθερής δικτυακής υποδομής). Μπορούν να εγκατασταθούν σε απομακρυσμένες περιοχές όπου θα μπορούσαν να παραμείνουν για μεγάλο χρονικό διάστημα καταγράφοντας ένα περιβαλλοντολογικό μέγεθος χωρίς να χρειάζεται να αντικατασταθεί ή να φορτισθεί η πηγή ενέργειάς τους.

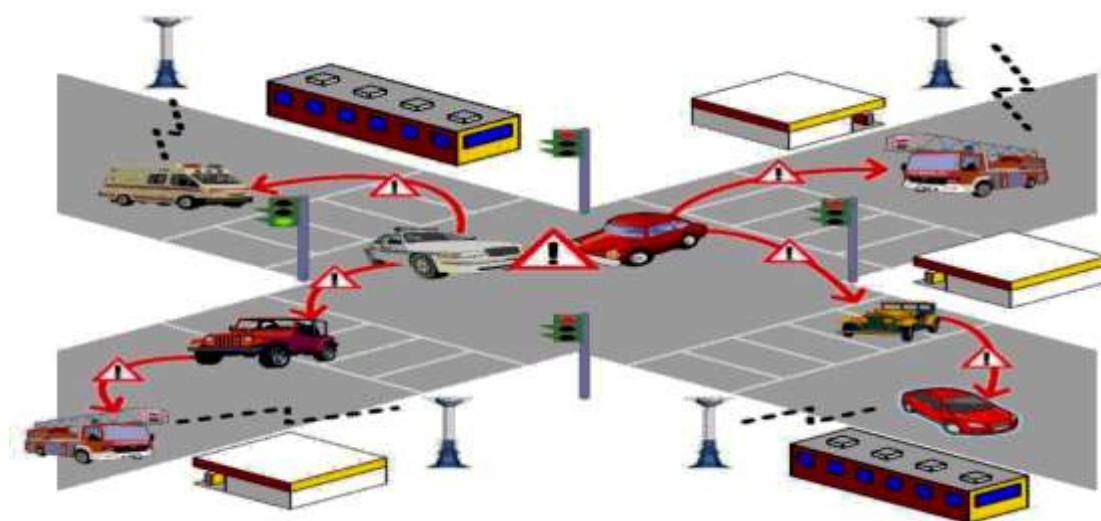
Μερικές από τις εφαρμογές ενός τέτοιου δικτύου είναι :

#### ➤ Δίκτυα αισθητήρων

Τα δίκτυα αυτά αποτελούνται από καταναμεμημένους στο χώρο αυτόνομους αισθητήρες που συνεργάζονται με σκοπό την συλλογική απεικόνιση φυσικών ή περιβαλλοντικών μεγεθών, όπως η θερμοκρασία, ο ήχος, η δόνηση, η πίεση, η κίνηση ή τα σωματίδια μόλυνσης, σε διάφορες τοποθεσίες.

Η ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων αισθητήρων αρχικά ξεκίνησε για στρατιωτικές εφαρμογές. Συνεχίστηκε λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης των ασύρματων επικοινωνιών, ενώ σήμερα χρησιμοποιούνται σε αρκετούς τομείς της καθημερινότητας όπως η πρόβλεψη του καιρού, η παρακολούθηση του περιβάλλοντος, καθώς και σε εφαρμογές υγείας, αλλά και σε εφαρμογές έξυπνων σπιτιών για συναγερμό ή παρακολούθηση συσκευών.

Στην ιατρική, οι κόμβοι αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση και τη βοήθεια ασθενών, στην βιομηχανία για την παρακολούθηση μηχανών, στις συγκοινωνίες για έλεγχο συμφόρησης στο οδικό δίκτυο.



**Σχήμα 2.6** Έλεγχος συμφόρησης στο οδικό δίκτυο

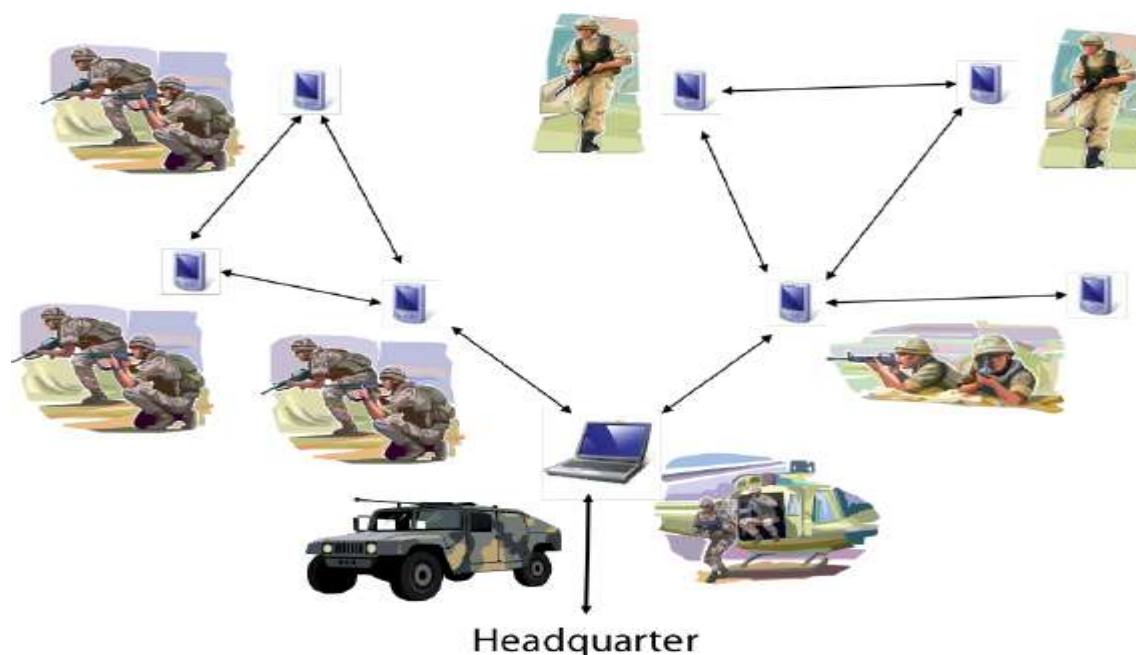
Στις πιο πρόσφατες, και επομένως λιγότερο οικείες εφαρμογές, μπορούμε να αναφέρουμε την χρήση δικτύων αισθητήρων για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης και της κίνησης αντικειμένων σε εσωτερικούς χώρους, όπως σε κτίρια σε πυκνοδομημένο αστικό περιβάλλον, όπου η απόδοση της κλασικής GPS υπηρεσίας αποδεικνύεται ανεπαρκής.

Τέλος, σε αθλητικές δραστηριότητες είναι δυνατή η μέτρηση των επιδόσεων και των ζωτικών οργάνων των αθλητών με συσκευές που ενσωματώνονται στο ανθρώπινο σώμα.

Ένας κόμβος αισθητήρα έχει επεξεργαστική ισχύ, ασύρματες δυνατότητες επικοινωνίας και συσκευές αίσθησης. Όμως για την ελαχιστοποίηση του κόστους έχουν συνήθως επικοινωνία μικρής εμβέλειας, χαμηλή ενέργεια και χαμηλή επεξεργαστική ισχύ.

#### ➤ Στρατιωτικές εφαρμογές

Τα Manet δίκτυα είναι ιδιαίτερα σημαντικά και για τις ένοπλες δυνάμεις κατά την διάρκεια πολέμου, για τον συντονισμό των στρατιωτών στην άμυνα και στην επίθεση, στα στρατιωτικά οχήματα σε ένα πεδίο μάχης, στα τηλεκατευθυνόμενα εναέρια οχήματα, σε ένα στόλο πλοίων στην θάλασσα, στους τομείς των αισθητήρων και στα γοργά αναπτυσσόμενα δίκτυα πεδίου μάχης.



**Σχήμα 2.7:** Στρατιωτικές εφαρμογές του Manet

#### ➤ Disaster Management

Χρησιμοποιείται εκεί που δημιουργούνται ομάδες αποκατάστασης και διαχείρισης καταστροφής, π.χ. το προσωπικό άμεσης ανάγκης σε ένα σεισμό ή σε ένα τσουνάμι. Πιο συγκεκριμένα τα Manets μπορούν να χρησιμοποιηθούν για επικοινωνία σε περιοχές

χωρίς ικανοποιητική ασύρματη κάλυψη ή εφόσον η υπάρχουσα υποδομή επικοινωνίας έχει καταστραφεί εξαιτίας φυσικών καταστροφών.

➤ Εμπορική χρήση

Για την κάλυψη επικοινωνίας σε περιπτώσεις εκθέσεων, συνεδρίων ή παρουσιάσεις πωλήσεων και για εφαρμογές Video conferencing ή απομακρυσμένων συνεντεύξεων και meeting, όπου όλα τα τερματικά και τα access points είναι απαραίτητο να είναι κινητά. Σε εφαρμογές στις οποίες έχουμε συγκέντρωση ατόμων με φορητούς υπολογιστές σε μια περιοχή που δεν διαθέτει δίκτυο 802.11.

Γενικά, σε οποιοδήποτε γεγονός όπου μαζεύονται πολλοί άνθρωποι (meeting) για μικρό χρονικό διάστημα είναι δυνατή η εύκολη ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ τους χωρίς την ανάγκη ανάπτυξης υποδομής που μπορεί να είναι οικονομικά ασύμφορη.

## Κεφάλαιο 3

# ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ



---

### Περιεχόμενα :

- 3.1 Δρομολόγηση στα Ad hoc δίκτυα
- 3.2 Δρομολόγηση στα δίκτυα αισθητήρων

### 3.1. Δρομολόγηση στα Ad hoc δίκτυα

#### 3.1.1 Γενικά στοιχεία και ορισμοί

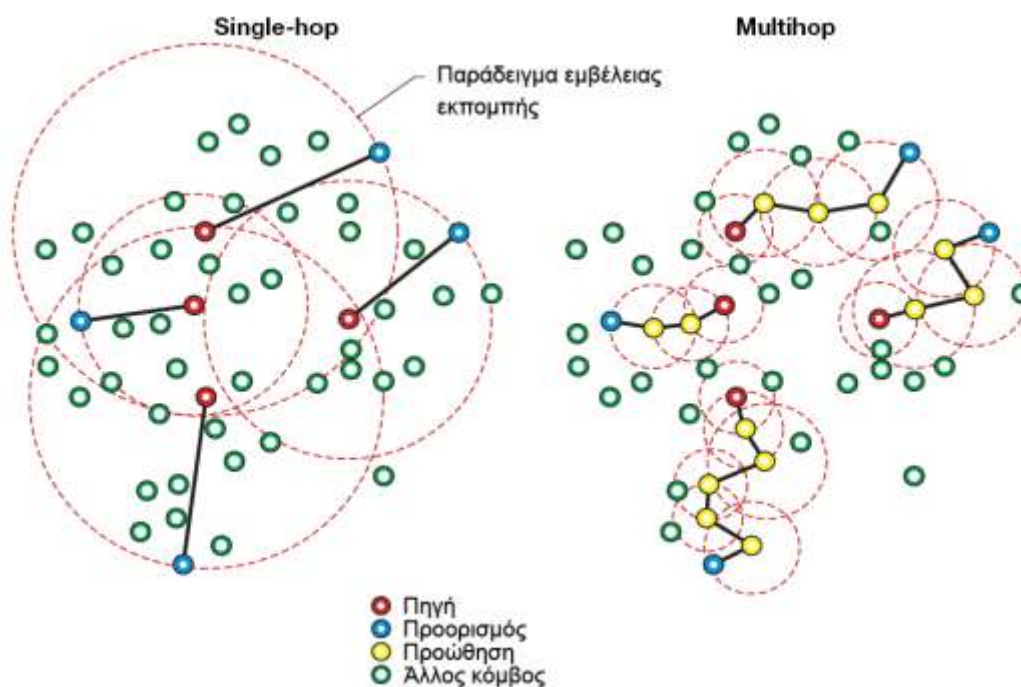
#### 3.1.2 Τρόπος δρομολόγησης

#### 3.1.3 Reactive πρωτοκόλλων δρομολόγησης

#### 3.1.1 Γενικά στοιχεία και ορισμοί

Η διαδικασία που ακολουθεί ένας κόμβος για να μεταδώσει τα δεδομένα του στους γειτονικούς κόμβους καλείται δρομολόγηση.

Για την δρομολόγηση πακέτων μεταξύ των κόμβων ενός ad hoc δικτύου, χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα δρομολόγησης, τα οποία διευκολύνουν την επικοινωνία μεταξύ οποιωνδήποτε ζευγαριών κόμβων.



**Σχήμα 3.1:** Διάφορες single-hop και multi-hop δικτύων

#### 3.1.2 Τρόπος δρομολόγησης

Στα Manet δίκτυα τα πρωτόκολλα δρομολόγησης διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο λαμβάνονται πληροφορίες για την δρομολόγηση και πώς αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των διαδρομών.

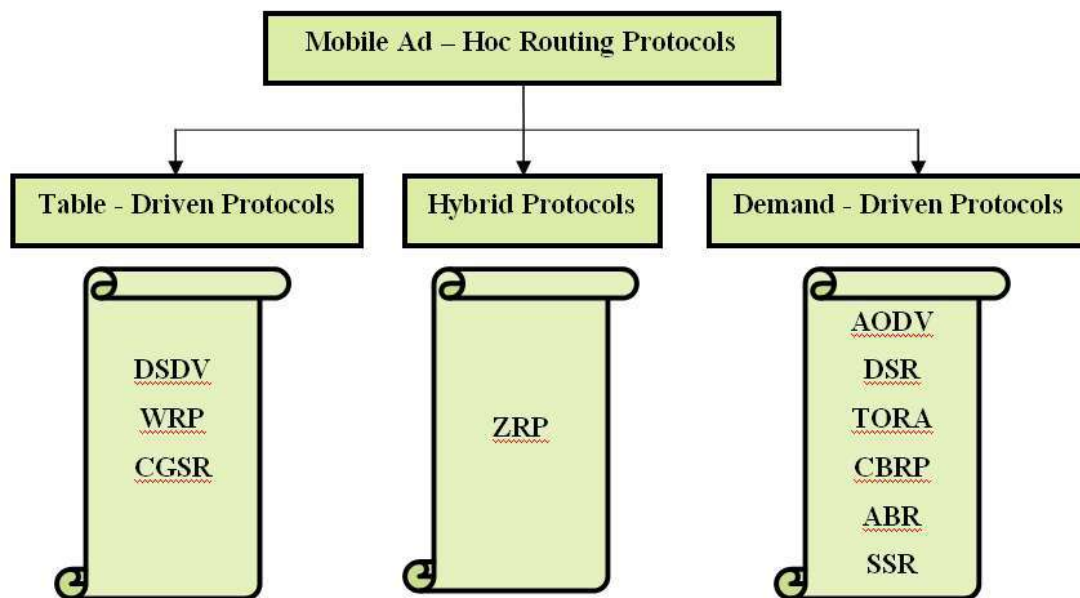
### 3.1.2.1 Βασικά χαρακτηριστικά

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης είναι :

- ✓ Ο τρόπος και τα κριτήρια με τα οποία επιλέγει τις διαδρομές δρομολόγησης
- ✓ Ο χρόνος που χρειάζονται για να συγκλίνουν
- ✓ Ο τρόπος αποφυγής δημιουργίας βρόχων δρομολόγησης
- ✓ Η επίδοση του σε μεγάλης κλίμακας δικτύων.

### 3.1.2.2 Ταξινόμηση πρωτοκόλλων δρομολόγησης για Ad hoc δίκτυα

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι 3 κατηγορίες πρωτοκόλλων :



**Σχήμα 3.2 :** κατηγορίες πρωτοκόλλων δρομολόγησης στα Manets δίκτυα.

#### ➤ Table – Driven Routing Protocols (proactive)

Στην κατηγορία αυτή, οι κόμβοι του δικτύου περιέχουν ένα πίνακα δρομολόγησης για την προώθηση των πακέτων σε οποιονδήποτε άλλο κόμβο μέσα στο δίκτυο και, επίσης, γίνεται μια διαρκής ενημέρωση για την κατάσταση της τοπολογίας του δικτύου. Άρα, στην περίπτωση αυτή οι διαδρομές υπολογίζονται και αποθηκεύονται στον πίνακα δρομολόγησης εκ των προτέρων και κάθε φορά που χρειάζεται μετάδοση χρησιμοποιούνται.

Η διαρκής ενημέρωση των πινάκων δρομολόγησης έχει σαν αποτέλεσμα τα πρωτόκολλα αυτά να είναι ακατάλληλα για τα Manet δίκτυα, τα οποία παρουσιάζουν υψηλή κινητικότητα. Αντίθετα, είναι κατάλληλα για δίκτυα με στατική τοπολογία.



➤ Demand – Driven Routing Protocols (Reactive)

Σε αυτή την κατηγορία πρωτοκόλλων, στον πίνακα δρομολόγησης κάθε κόμβου δεν διατηρούνται όλες οι διαδρομές δρομολόγησης.

Η αναζήτηση διαδρομής γίνεται δυναμικά κάθε φορά που υπάρχει ανάγκη μετάδοσης δεδομένων. Η κατηγορία αυτή είναι καταλληλότερη για δίκτυα με υψηλή κινητικότητα (δίκτυα με μεταβαλλόμενη τοπολογία).

➤ Hybrid protocols

Η κατηγορία αυτή συνδυάζει στοιχεία των δύο παραπάνω.

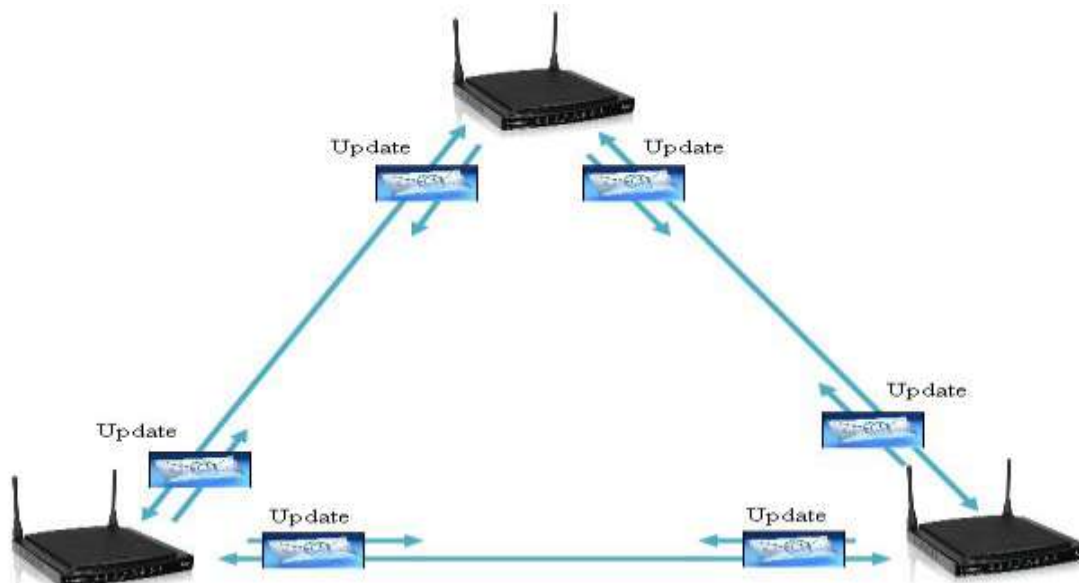
### 3.1.3 Reactive πρωτοκόλλων δρομολόγησης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, όπου η αναζήτηση διαδρομής δρομολόγησης είναι δυναμική και γίνεται κάθε φορά που υπάρχει ανάγκη για μετάδοση, θα εξετάσουμε δύο πρωτόκολλα μεταξύ των άλλων στην λίστα του Demand – Driven Routing Protocols

- ✓ Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV)
- ✓ Dynamic Source Routing (DSR)

τα οποία μας χρειάζονται για την υλοποίηση των πειραματικών προσομοιώσεων που εξετάζονται στο επόμενο κεφάλαιο .

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η δυναμική δρομολόγηση όπου οι δρομολογητές εναλλάσσουν τις πληροφορίες δρομολόγησης, όταν συμβαίνει μια αλλαγή στο δίκτυο.



**Σχημα 3.3 :** Routes Updates

#### 3.1.3.1 Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV)

Το AODV είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που βασίζεται στο πρωτόκολλο DSDV(Dynamic Destination Sequenced Distance Vector Routing Protocol). Με άλλα λόγια, βασίζεται στην δρομολόγηση του Bellman Ford όπου σε κάθε κόμβο του δικτύου

αντιστοιχίζεται και ένας πίνακας, ο οποίος περιέχει όλους του πιθανούς προορισμούς από αυτόν τον κόμβο, καθώς και τον αριθμό των βημάτων(hops) για κάθε έναν από αυτούς, με την διαφορά ότι το AODV είναι Reactive σε αντίθεση με το DSDV το οποίο είναι Proactive.

Είναι ένα πρωτόκολλο που φτιάχνει δυναμικά την διαδρομή δρομολόγησης δεδομένων, δηλαδή δεν υπάρχουν από την αρχή οι διαδρομές μεταξύ των κομβών.

Υπάρχουν τέσσερα είδη AODV μηνυμάτων :

- Route Request (RREQs)
- Route Replies (RREPs)
- Route Errors (RERRs)
- HELLO messages

#### 3.1.3.1.1 Route Request (RREQs)

Το RREQ περιέχει τα ακόλουθα πεδία :

Source address	Request ID	Source Sequence No.	Destination address	Destination Sequence No.	Hop count
----------------	------------	---------------------	---------------------	--------------------------	-----------

Το Request ID αυξάνεται κάθε φορά που ο κόμβος πηγής στέλνει ένα RREQ πακέτο, οπότε το ζεύγος (source address, request ID) ταυτίζεται με ένα μοναδικό RREQ.

Χρησιμοποιώντας UDP (User Datagram Protocol) πακέτα για ανακάλυψη διαδρομών, ο κόμβος πηγής στέλνει κάθε φορά ένα broadcast μήνυμα, δηλαδή ένα Route Request (RREQ), στο δίκτυο την στιγμή που χρειάζεται μια αποστολή δεδομένων σε έναν άλλο κόμβο (προορισμός) , με αποτέλεσμα να ενημερώνονται οι πίνακες δρομολόγησης των κομβών που θα το λαμβάνουν για τον κόμβο πηγής.

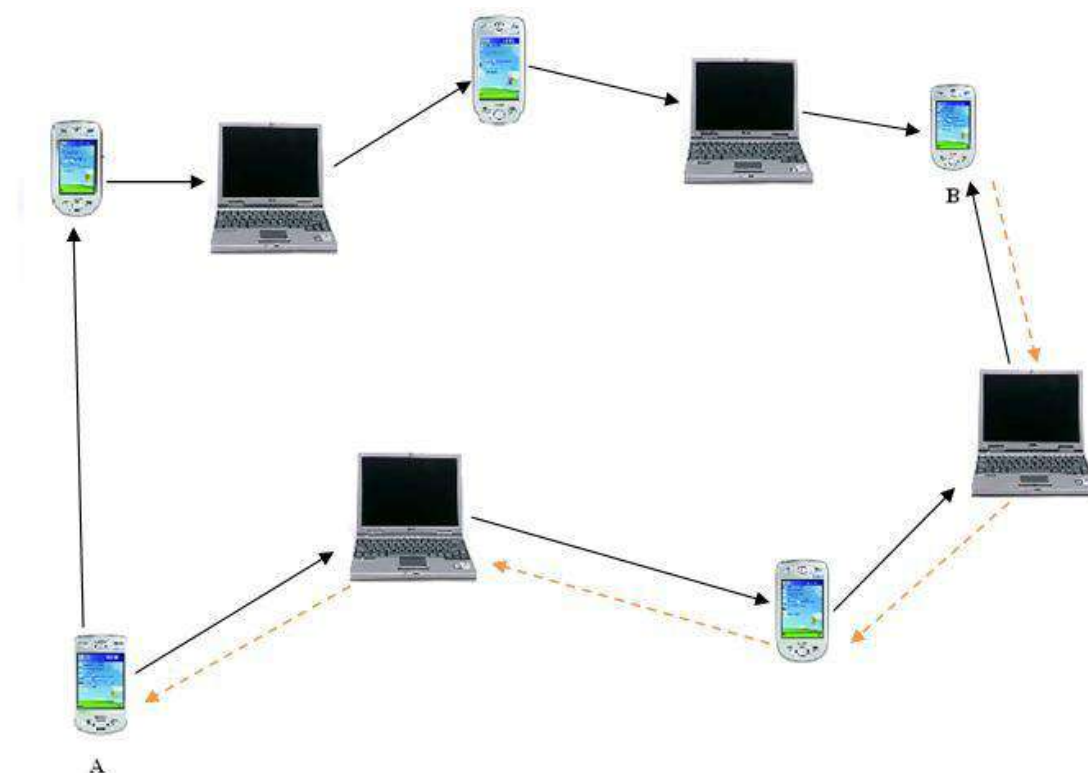
Κάθε κόμβος του δικτύου διατηρεί ένα πίνακα δρομολόγησης για κάθε εγγραφή του και κάθε εγγραφή του πίνακα δρομολόγησης περιέχει τα παρακάτω στοιχεία :

- Την IP διεύθυνση του προορισμού
- Τον Sequence Number του προορισμού
- Τον αριθμό των βημάτων(hops per Route )μέχρι τον προορισμό(το οποίο προσδιορίζεται από το Time-To-Live (TTL) στην επικεφαλίδα του IP)
- Το επόμενο βήμα-κόμβο, ο οποίος έχει επιλεγεί για την αποστολή πακέτων στον προορισμό
- Το χρόνο για τον οποίο η διαδρομή θεωρείται έγκυρη(lifetime)
- Τους γειτονικούς κόμβους, οι οποίοι χρησιμοποιούν ενεργά αυτή την διαδρομή
- Ένα buffer, το οποίο εξασφαλίζει ότι μια αίτηση επεξεργάζεται μόνο μια φορά.

Ο AODV χρησιμοποιεί τους sequence numbers των προορισμών για να εξασφαλίσει ότι οι διαδρομές δεν περιέχουν βρόχους (loop-free) και περιέχουν τις πιο πρόσφατες πληροφορίες διαδρομών. Επομένως, κάθε κόμβος διατηρεί ένα δικό του sequence number και ένα ID για κάθε εκπομπή. Λαμβάνοντας το RREQ μήνυμα, κάθε κόμβος ελέγχει το source address και request ID για να δει αν έχει ήδη λάβει πιο πρόσφατα το RREQ μήνυμα με το ίδιο ζεύγος στοιχείου, και αν το έχει λάβει απορρίπτεται το νέο RREQ μήνυμα.



Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το broadcast μήνυμα RREQ (με το μαύρο χρώμα) από τον κόμβο A προς τον προορισμό B.



**σχήμα 3.4 :** RREQ και RREP μηνύματα

Παρατηρούμε ότι τα RREQ μηνύματα πηγαίνουν προς όλες τις κατευθύνσεις (broadcasting). Όταν ο γειτονικός κόμβος λαμβάνει το RREQ, δημιουργείται μια αντίστροφη διαδρομή προς τον κόμβο A. Επομένως, ο γειτονικός κόμβος είναι το επόμενο βήμα (hop) στον κόμβο πηγής A, με αποτέλεσμα να αυξάνεται κατά ένα ο μετρητής των βημάτων (count hop) του RREQ.

Ο γειτονικός κόμβος θα ελέγξει αν έχει διαθέσιμη διαδρομή ή όχι για τον προορισμό. Αν έχει, θα προωθήσει ένα RREP μήνυμα στον κόμβο πηγής A, αλλιώς θα ξαναστείλει το broadcast μήνυμα (RREQ) στο δίκτυο, αυξάνοντας την τιμή του μετρητή των βημάτων (count hop) .

Οι ενδιαμέσοι κόμβοι μπορούν να απαντήσουν στα RREQ μηνύματα μόνο αν διαθέτουν το Sequence Number του προορισμού (DNS : destination sequence number) που ισούται ή είναι μεγαλύτερο από τον αριθμό που βρίσκεται στην επικεφαλίδα του πακέτου RREQ. Οι ενδιαμέσοι κόμβοι προωθούν τα RREP μηνύματα στους γειτονικούς τους κόμβους κρατώντας τις διευθύνσεις αυτές στην μνήμη των πινάκων δρομολόγησης, οι οποίες θα χρησιμοποιούνται αργότερα για την αντίστροφη δρομολόγηση, δηλαδή για την δρομολόγηση του RREP μηνύματος από τον κόμβο προορισμό.

#### 3.1.3.1.2 Route Replies (RREPs)

Αν ένας κόμβος είναι ο κόμβος προορισμός, ή διαθέτει έγκυρη διαδρομή προς τον κόμβο προορισμό, έχει την δυνατότητα να αποστείλει ένα unicast πακέτο απάντησης (RREP) πίσω στον κόμβο πηγής.

Το RREP μήνυμα περιέχει τα ακόλουθα πεδία :

Source address	Destination address	Destination Sequence No.	Hop count	Life-time
----------------	---------------------	--------------------------	-----------	-----------

Ο κόμβος προορισμού Β απαντάει με το RREP μήνυμα, το οποίο σημειώνεται με το πορτοκαλί χρώμα στο παραπάνω σχήμα 2.

Όσο το RREP μήνυμα προωθείται προς τα πίσω κατά μήκος του αντίστροφου μονοπατιού, οι ενδιαμέσοι κόμβοι κατά μήκος του μονοπατιού αυτού δημιουργούν στους πίνακες δρομολόγησης τις εγγραφές διαδρομών προς τα μπρος, που δείχνουν προς τον κόμβο από όπου ήρθε το RREP.

Αυτές οι εγγραφές διαδρομών δείχνουν την ενεργή διαδρομή προς τα μπρος. Με κάθε εγγραφή διαδρομής είναι συσχετισμένο ένα χρονόμετρο διαδρομής, έτσι ώστε να γίνεται αργότερα διαγραφή της αντίστοιχης εγγραφής στο πίνακα δρομολόγησης με τη λήξη του προκαθορισμένου χρόνου ζωής.

Αν το RREP δεν φτάσει μέσα σε ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, ο κόμβος πηγής μπορεί να επαναλάβει την αποστολή του RREQ μηνύματος ή να θεωρήσει ότι δεν υπάρχει καμία διαδρομή για να φτάσει στον απαιτούμενο προορισμό.

#### 3.1.3.1.3 Route Errors (RERRs)

Κάθε κόμβος διαχειρίζεται τους γειτονικούς κόμβους. Το μήνυμα λάθους RERR αποστέλλεται στην αφετηρία, όταν απορρίπτεται το RREQ πακέτο σε κάποιον κόμβο όπου δεν υπάρχει η κατάλληλη καταχώριση στον πίνακα δρομολόγησης ή δεν υπάρχει διαδρομή δρομολόγησης προς τον προορισμό.

#### 3.1.3.1.4 HELLO messages

Κάθε κόμβος του δικτύου μπορεί να γνωρίζει για την κατάσταση λειτουργίας του γειτονικού του κόμβου χρησιμοποιώντας τα τοπικά broadcasts, τα οποία καλούνται "HELLO messages". Το AODV χρησιμοποιεί περιοδικά HELLO messages για την ενημέρωση της κατάστασης της ζεύξης μεταξύ των γειτονικών κόμβων. Τα HELLO messages δεν προωθούνται πότε, διότι αποστέλλονται πάντα με TTL = 1 και βοηθάνε στην ανανέωση του χρόνου ζωής (life-time) στις πληροφορίες στον πίνακα δρομολόγησης γειτονικών κόμβων.

Σημειώνεται ότι οι χρησιμοποιημένοι δέκτες παραμένουν ενεργοί μόνο από την αρχή έως το τέλος της μετάδοσης των δεδομένων και για ένα μικρό χρονικό διάστημα μετά το τέλος της μετάδοσης δεδομένων.

### 3.1.3.1.5 Ιδιότητες

#### 3.1.3.1.5.1 Πλεονεκτήματα

- Περιορισμός του αριθμού των μηνυμάτων δρομολόγησης μέσα στο δίκτυο (δεν χρειάζεται ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου της διαδικασίας δρομολόγησης), δηλαδή χαμηλή χρησιμοποίηση δικτύου.
- Με την χρήση των sequence numbers εξασφαλίζεται ότι διαδρομή είναι έγκυρη (δηλαδή είναι πρόσφατη και δεν περιέχει βρόχους (loop problems)).
- Δυναμική δρομολόγησης και δυνατότητα multicast.
- Διατήρηση της τοπικής σύνδεσης του κάθε κόμβου με την αποστολή HELLO messages.
- Χαμηλό κόστος επεξεργασίας και overhead μνήμης ( τόσο τα πακέτα RREQS , όσο και τα πακέτα RREPS, περιέχουν μικρό όγκο πληροφοριών).

#### 3.1.3.1.5.2 Μειονεκτήματα

- Δημιουργούνται προβλήματα με την παύση συγχρονισμού των sequence numbers.
- Απαίτηση για συμμετρικές συνδέσεις μεταξύ των κόμβων (δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει διαδρομές με μη συμμετρικές συνδέσεις).
- Υποστήριξη μιας διαδρομής ανά σύνδεση.
- Αν προκύψει μια αποτυχία σύνδεσης κατά μήκος ενός μονοπατιού, θα πρέπει να ξανακληθεί από την πηγή ο αλγόριθμος ανακάλυψης διαδρομής, λόγω έλλειψης εναλλακτικής διαδρομής δρομολόγησης στους ενδιάμεσους κόμβους.
- Μειωμένη επίδοση με την αύξηση του μεγέθους δικτύου (όσο μεγαλύτερο είναι το δίκτυο, τόσο πιο ευαίσθητη είναι η διαδρομή δρομολόγησης ).
- Ευάλωτο σε διάφορες εισβολές (attacks), διότι βασίζεται στην συνεργασία όλων των κόμβων (χωρίς αυτή την συνεργασία δεν θα υπάρχει διαδρομή δρομολόγησης).

### 3.1.3.2 Dynamic Source Routing (DSR)

Το Dynamic Source Routing (DSR) πρωτόκολλο είναι ένα Reactive (On-demand) πρωτόκολλο δρομολόγησης, το οποίο βασίζεται στην έννοια της δρομολόγησης πηγής και caching της πληροφορίας που απαιτείται για την δρομολόγησης του στο πέδιο route record.

Όπως και στο AODV, η ανακάλυψη της διαδρομής δρομολόγησης γίνεται με flooding (broadcasting) του δικτύου. Το DSR βελτιώνει ακόμη περισσότερο την ιδέα που χρησιμοποιείται στο AODV.

Το πρωτόκολλο αυτό στηρίζεται σε δύο μηχανισμούς για την λειτουργία του, οι οποίοι είναι οι εξής :

- Route discovery (εύρεση διαδρομής)
- Route maintenance (διατήρηση διαδρομής)

Η λειτουργία των μηχανισμών εύρεσης και διατήρησης διαδρομής στο DSR είναι σχεδιασμένη ώστε να επιτρέπει μονοκατευθυντικές ζεύξεις (unidirectional links) και μη συμμετρικές διαδρομές (asymmetric routes).

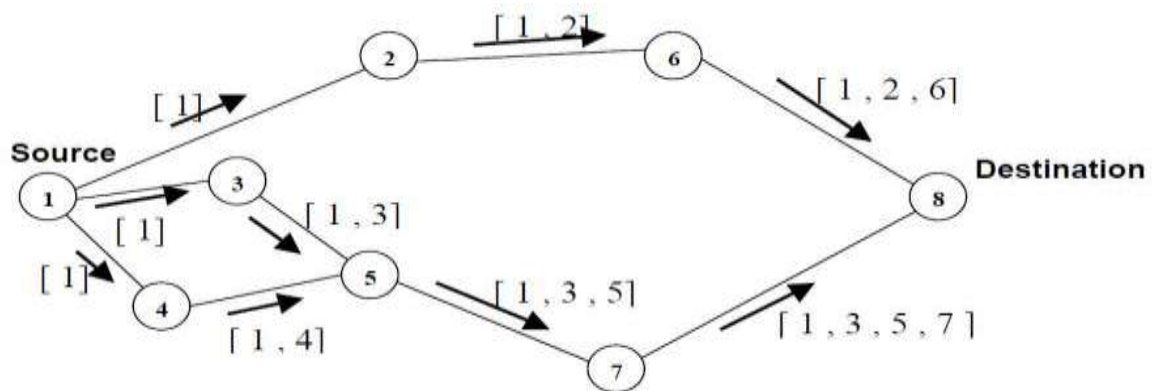
#### 3.1.3.2.1 Route Discovery (εύρεση διαδρομής)

Στο route discovery έχουμε δύο μηνύματα (το route request (RREQ) και το route reply (RREP)). Το route request (RREQ) περιέχει την διεύθυνση της πηγής και του προορισμού και ένα μοναδικό αριθμό αναγνώρισης ταυτότητας.

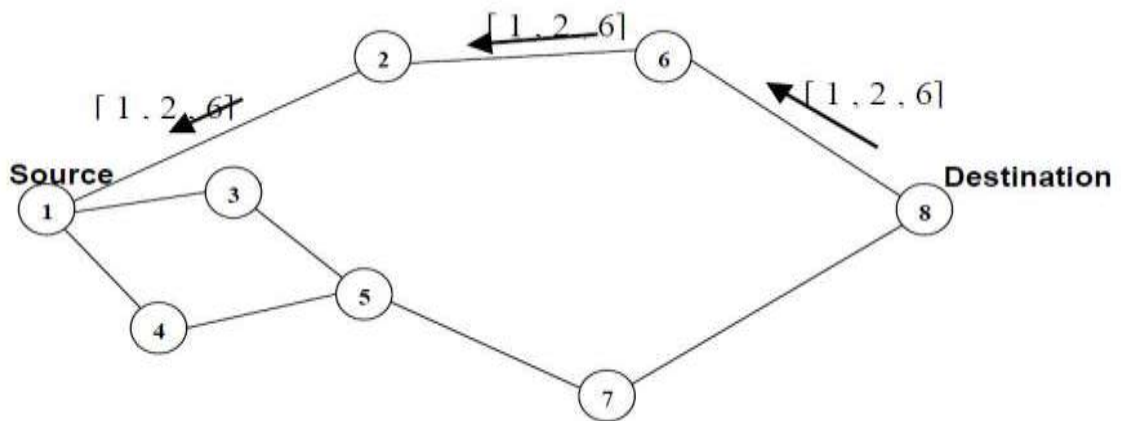
Όταν ένας κόμβος επιθυμεί να στείλει ένα πακέτο σε ένα συγκεκριμένο κόμβο προορισμό, κάνει broadcasting (flooding) του RREQ μηνύματος στο δίκτυο. Οι γειτονικοί κόμβοι μέσα στην περιοχή κάλυψής του λαμβάνουν το RREQ μήνυμα και καταχωρούν τις δικιές τους διευθύνσεις μέσα στην επικεφαλίδα του RREQ μηνύματος. Έπειτα το προωθούν (broadcast) στους γειτονικούς τους κόμβους. Αν το RREQ μήνυμα φτάσει στο προορισμό του, η διαδρομή αυτή είναι διαδρομή για τον συγκεκριμένο προορισμό.

Κάθε κόμβος διατηρεί το route cache (κρυφή μνήμη διαδρομών) του και το ελέγχει κάθε φορά που χρειάζεται να προωθήσει (broadcast) ένα RREQ μήνυμα σε ένα προορισμό. Διατηρώντας το route cache (κρυφή μνήμη διαδρομών) σε κάθε κόμβο μέσα στο δίκτυο, μειώνεται το overhead, το οποίο δημιουργείται από την διαδικασία της ανακάλυψης διαδρομής (route discovery procedure). Επομένως δεν θα χρειάζεται κάθε φορά το broadcast του RREQ μηνύματος όταν φτάσει σε ένα κόμβο μέσα στο δίκτυο, αφού θα γνωρίζει ήδη πού θα πρέπει να το δρομολογήσει από το route cache (κρυφή μνήμη διαδρομών) του.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής, όπου ο κόμβος 1 είναι η πηγή και ο κόμβος 8 ο είναι προορισμός.



**Σχήμα 3.5:** Route discovery procedure in Manet using DSR (RREQ messages)

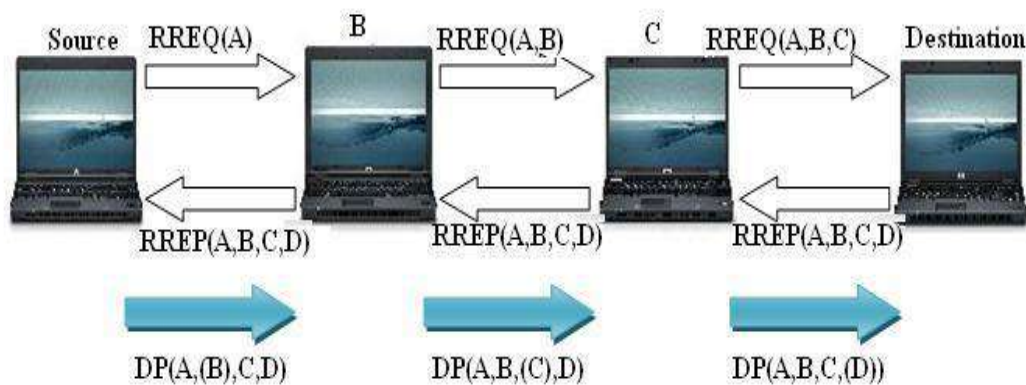


**Σχήμα 3.6:** Route discovery procedure in Manet using DSR (RREP message)

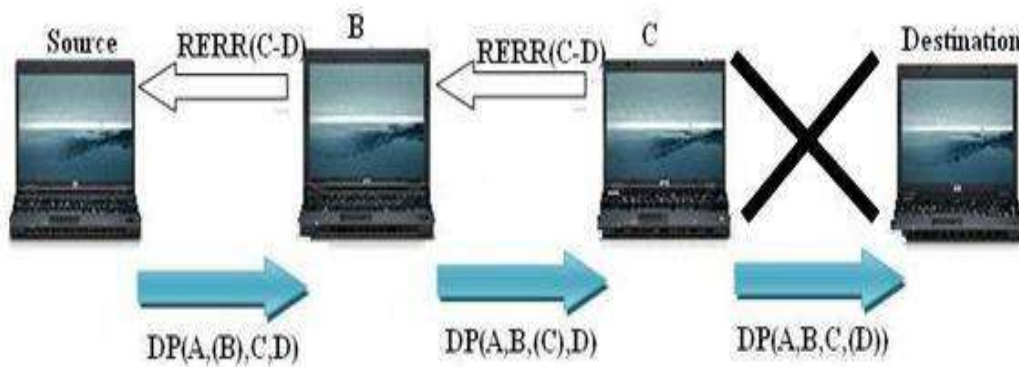
### 3.1.3.2.2 Route Maintenance (διατήρηση διαδρομής)

Το route maintenance χρησιμοποιεί δύο είδη μηνυμάτων (το route error (RERR) και το acknowledgement (ACK)). Όταν το μήνυμα RREQ φτάσει στον παραλήπτη, αυτός ένα ACK στον αποστολέα για να επιβεβαιώσει ότι έλαβε το μήνυμα. Ο γειτονικός κόμβος που θα λάβει αυτό το μήνυμα, αν παρατηρήσει ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα δρομολόγησης στο δίκτυο, στέλνει ένα RERR στον αποστολέα ότι υπάρχει πρόβλημα δρομολόγησης, οπότε και ο κόμβος πηγή δεν θα λάβει το ACK μήνυμα. Επομένως, ο κόμβος πηγή λαμβάνει το RERR μήνυμα για να φτιάξει μια καινούργια διαδρομή δρομολόγησης.

Στα σχήματα 3.7 και 3.8 παρουσιάζονται οι τρόποι που γίνονται οι παραπάνω διαδικασίες.



**Σχήμα 3.7 :** Route discovery procedure in Manet using DSR



**Σχήμα 3.8:** Route maintenance procedure in Manet using DSR

### 3.1.3.2.3 Ιδιότητες

#### 3.1.3.2.3.1 Πλεονεκτήματα

- Οι ενδιαμέσοι κόμβοι δεν χρειάζεται να διατηρούν ενημερωμένες πληροφορίες για τις διαδρομές, για να μπορούν να δρομολογούν τα πακέτα που προωθούν (δρομολόγηση από την πηγή).
- Δεν χρησιμοποιεί περιοδικά μηνύματα δρομολόγησης όπως τα υπόλοιπα on-demand (Reactive) πρωτόκολλα, με αποτέλεσμα να εξοικονομούν ενέργεια και εύρος ζώνης επικοινωνίας οι κόμβοι.
- Δεν φέρει οποιοδήποτε overhead, όταν δεν υπάρχουν αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου, με συνέπεια να μειώνεται το πρόσθετο κόστος στο δίκτυο.
- Παρέχει υποστήριξη για αμφίδρομες συνδέσεις, με τη χρήση νέων αιτήσεων διαδρομής από τον τελικό κόμβο προς τον αρχικό.
- Παρέχει υποστήριξη για πολλαπλές διαδρομές για έναν προορισμό στους κόμβους.

#### 3.1.3.2.3.2 Μειονεκτήματα

- Το μικρό πρόσθετο κόστος σε κάθε πακέτο, αφού πρέπει να περιέχει την διαδρομή μέχρι τον αρχικό κόμβο που έστειλε το πακέτο.
- Κάθε κόμβος πρέπει να “θυμάται” ολόκληρες διαδρομές, επομένως παρουσιάζεται μεγαλύτερο overhead μνήμης.
- Μεγαλύτερα πακέτα απάντησης διαδρομής, αφού περιέχουν την διεύθυνση κάθε κόμβου κατά μήκος της διαδρομής.
- Δεν γίνεται καμία προσπάθεια χρησιμοποίησης τμηματικής ανάκτησης διαδρομής, δηλαδή, αν προκύψει μια αποτυχία σύνδεσης κατά μήκος ενός μονοπατιού, ο αλγόριθμος ανακάλυψης διαδρομής πρέπει να ξανακληθεί από την πηγή. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερους χρόνους ανακατασκευής διαδρομής.

### 3.2 Δρομολόγηση στα δίκτυα αισθητήρων

Τα δίκτυα αισθητήρων (sensor networks) έχουν πολλές ομοιότητες με τα δίκτυα ad-hoc, έχουν ωστόσο και πολλές διαφορές. Όσον αφορά την δρομολόγηση, ιδιαίτερη σημασία έχει το γεγονός ότι η τυπική επικοινωνία αφορά ένα σύνολο κόμβων που μεταδίδουν προς ένα συγκεκριμένο σταθμό και όχι επικοινωνία μεταξύ δύο κόμβων, όπως συμβαίνει συνήθως.

Σε σύγκριση με τα ad-hoc, οι κόμβοι των δικτύων αισθητήρων δεν κινούνται τόσο συχνά παρόλο που τα φαινόμενα που παρατηρούν μπορεί να κινούνται.

## Κεφάλαιο 4

# ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ OPNET Modeler



---

### ✚ Περιεχόμενα :

- 4.1 Εισαγωγή
  - 4.2 Χρήση του OPNET modeler
  - 4.3 Διαδικασία ανάπτυξης δικτύων
  - 4.4 ON/OFF μοντέλο ανάπτυξης
-



#### **4.1 Εισαγωγή**

Ο εξομοιωτής OPNET modeler είναι ένα από τα κορυφαία προγράμματα για την μοντελοποίηση και την εξομοίωση ενός δικτύου, με σκοπό την μελέτη, ανάλυση, ανάπτυξη και προσομοίωση των δικτύων επικοινωνιών, των κατανεμημένων συστημάτων, των υπολογιστικών συστημάτων και των εφαρμογών υπολογιστών.

Το OPNET modeler παρέχει ένα ευέλικτο περιβάλλον μοντελοποίησης συμπεριφοράς ενός δικτύου με δυνατότητες για δημιουργία πληρέστατων δικτύων, σχεδιασμό και μελέτη δικτύων επικοινωνιών, πρωτοκόλλων και εφαρμογών. Υποστηρίζει όλους τους τύπους δικτύων επιτρέποντας τον σχεδιασμό, την δοκιμή διαφόρων σεναρίων με λογική βεβαιότητα για τα αποτελέσματα, την έγκαιρη διάγνωση των σχεδιαστικών προβλημάτων και τη διόρθωσή τους πριν την υλοποίηση του δικτύου.

#### **4.2 Χρήση του OPNET modeler**

Στις μέρες μας, το OPNET modeler είναι ένα ισχυρό προσομοιωτικό εργαλείο στον ερευνητικό κλάδο ανάπτυξης δικτύων και στη βιομηχανία ανάπτυξης δικτύων, που δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να διαλέξει το είδος της δομής του δικτύου στο οποίο θα εργαστεί.

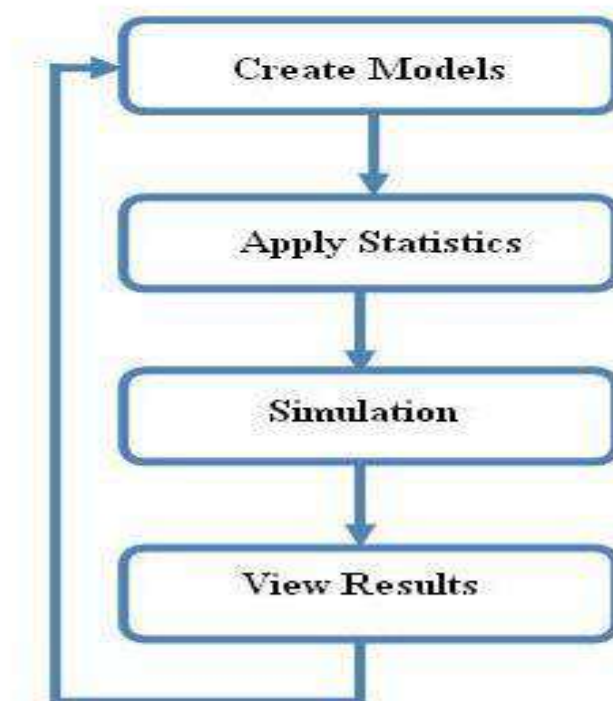
Το πρόγραμμα προσομοίωσης OPNET modeler προσφέρει :

- ✓ Ένα αποδοτικό γραφικό περιβάλλον μοντελοποίησης πραγματικών μοντέλων δικτύων, πρωτοκόλλων και εφαρμογών.
- ✓ Την δυνατότητα ανάλυσης και παρακολούθησης της δομής πραγματικών δικτύων και δικτυακών στοιχείων, μαζί με τα προβλήματά τους, πριν την πραγματική τους υλοποίηση.
- ✓ Έλεγχο εις βάθος των λεπτομερειών που χρησιμοποιούνται για την κάθε εξομοίωση, ώστε να απλοποιηθούν οι σχεδιαστικές αποφάσεις.
- ✓ Υποστήριξη όλων των υπάρχουσών τεχνολογιών που απαιτούνται για την εξομοίωση δικτύων.
- ✓ Υποστήριξη μετακίνησης κόμβων και παρεμβολών.

#### **4.3 Διαδικασία ανάπτυξης δικτύων**

Η διαδικασία ανάπτυξης δικτύων στο OPNET modeler μπορεί να διακριθεί σε τέσσερα σημαντικά στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι η μοντελοποίηση, δηλαδή η δημιουργία ενός μοντέλου δικτύου, το δεύτερο στάδιο είναι η επιλογή στατιστικών, το τρίτο στάδιο είναι η προσομοίωση του δικτύου ; και το τέταρτο στάδιο είναι η εμφάνιση και ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Τα παραπάνω στάδια παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα :



**Σχημα 4.1:** Τα τέσσερα στάδια του OPNET

#### 4.3.1 Δημιουργία ενός μοντέλου

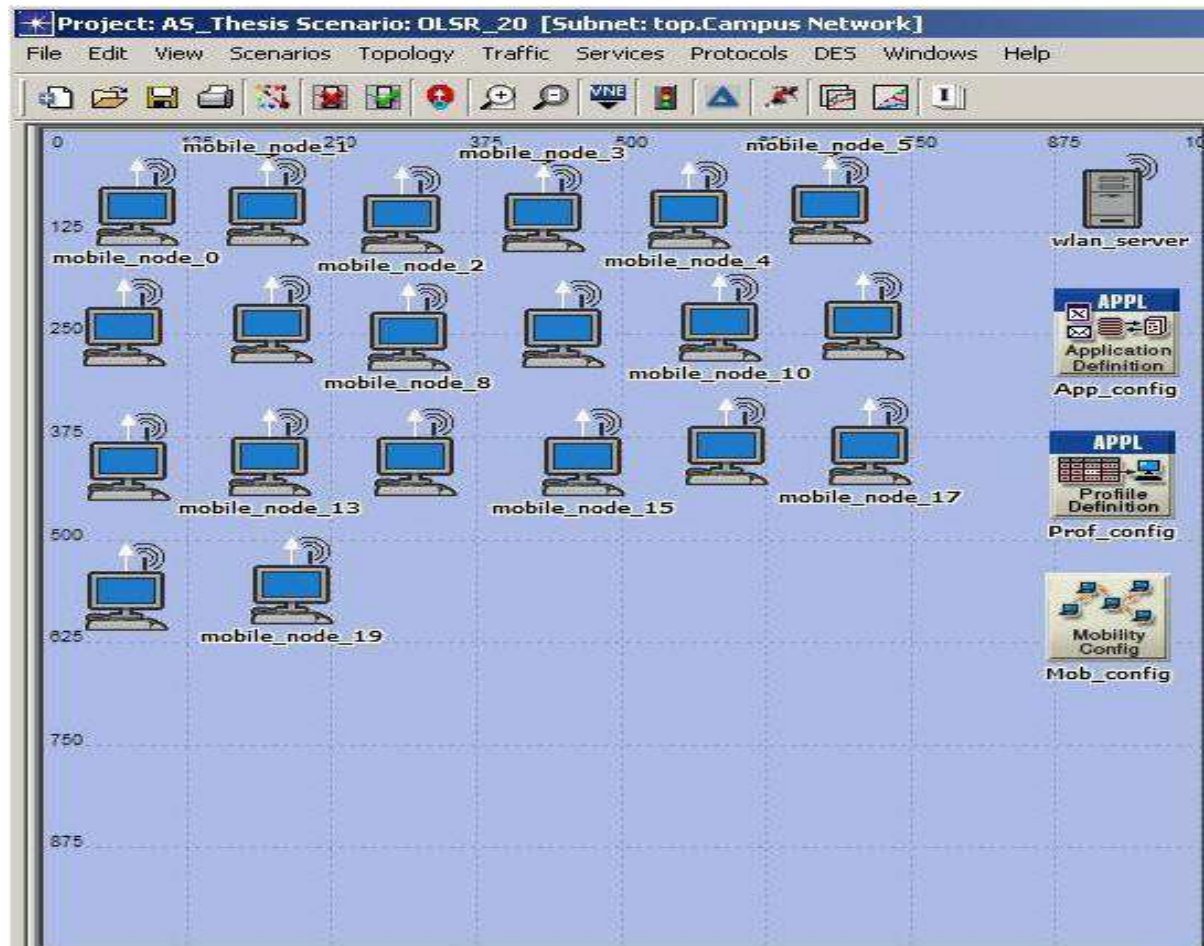
Πριν τρέξουμε το OPNET modeler 14.5 για να κατασκευάσουμε το επιθυμητό μοντέλο δικτύου, δημιουργούμε ένα blank scenario μέσω start-up wizard επιλέγοντας File => New => Project και αμέσως μετά ανοίγει το αρχείο project editor workspace. Τώρα θα σχεδιάσουμε το δίκτυο μέσα στο αρχείο project editor workspace. Ο σχεδιασμός του δικτύου γίνεται με δύο τρόπους :

- ✓ Η πρώτη μέθοδος είναι η γρήγορη διαμόρφωση (rapid configuration ).
- ✓ Η δεύτερη μέθοδος είναι η τοποθέτηση κόμβων από την παλέτα στο χώρο εργασίας.

Η πρώτη μεθοδολογία δημιουργεί άμεσα ένα δίκτυο, αφού πρώτα επιλέγει η τοπολογία του δικτύου χρησιμοποιώντας το rapid configuration, ενώ με την δεύτερη πρέπει να τοποθετήσουμε διάφορα στοιχεία από την παλέτα (το object palette) στο project editor workspace. Υπάρχει και δυνατότητα εισαγωγής μερικών σεναρίων από το σκληρό δίσκο.

Μετά το σχεδιασμό του δικτύου, γίνεται η παραμετροποίηση (με γρήγορη διαμόρφωση ή με την δεύτερη μέθοδο) των κόμβων έτσι ώστε να μπορούν να επικοινωνήσουν μέσα στο δίκτυο.

Ακολούθως παρουσιάζεται το προφίλ ενός μοντέλου ασύρματου δικτύου με 20 ασύρματους κινητούς κόμβους που επικοινωνούν μεταξύ τους :



**Σχήμα 4.2 :** Προφίλ μοντέλου ασυρμάτου δικτύου

#### 4.3.2 Επιλογή στατιστικών

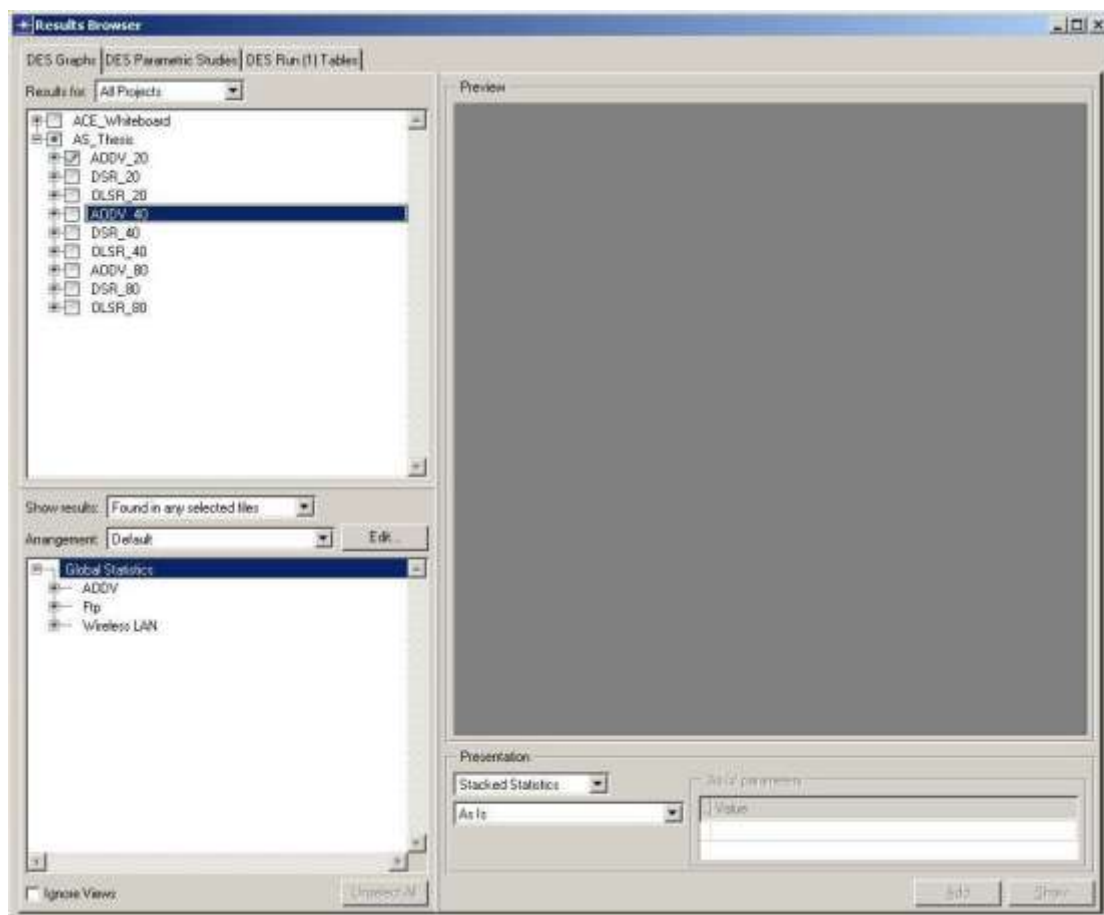
Υπάρχει δυνατότητα συλλογής στατιστικών από μεμονωμένους κόμβους στο δίκτυο (object statistics) ή από ολόκληρο το δίκτυο (global statistics). Αν κάποιος επιθυμεί να συλλέξει μία στατιστική, μπορεί να τρέξει την προσομοίωση για την συλλογή της.

#### 4.3.3 Προσομοίωση

Με την επιλογή Simulation => Configuration Discrete Event Simulation..., θέτουμε το χρόνο που θα κρατήσει η προσομοίωση λειτουργίας του δικτύου και στο τέλος πατάμε το κουμπί Run.

#### 4.3.4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Για να παρουσιάσουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης θα πρέπει να κάνουμε δεξί κλικ πάνω στο project editor workspace και μετά να επιλέξουμε το Results => View Results (εμφάνιση αποτελεσμάτων). Τελικά εμφανίζεται το παρακάτω σχήμα :



**Σχήμα 4.3 :** OPNET results browser

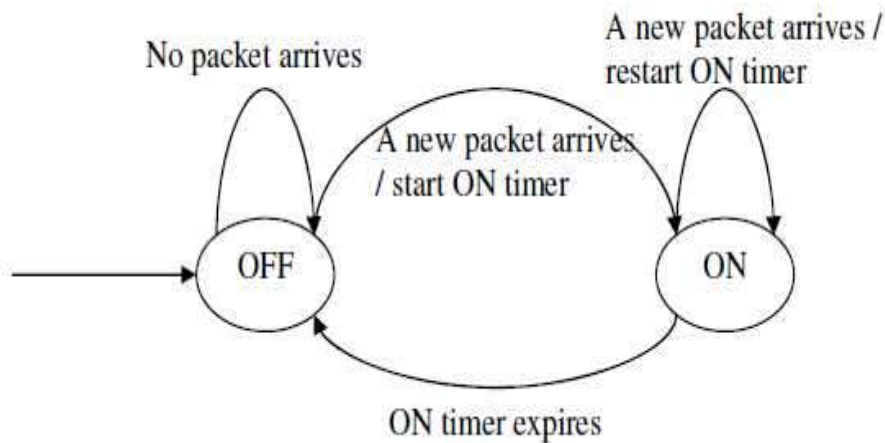
#### 4.4 ON/OFF μοντέλο ανάπτυξης

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε μέσω OPNET μια εφαρμογή (Customer Application) για την δημιουργία **ON/OFF** κίνησης από κάποιους επιλεγμένους κόμβους του δικτύου, τους οποίους θεωρούμε σαν Sensors Nodes λόγω της **ON/OFF** κίνησης τους.

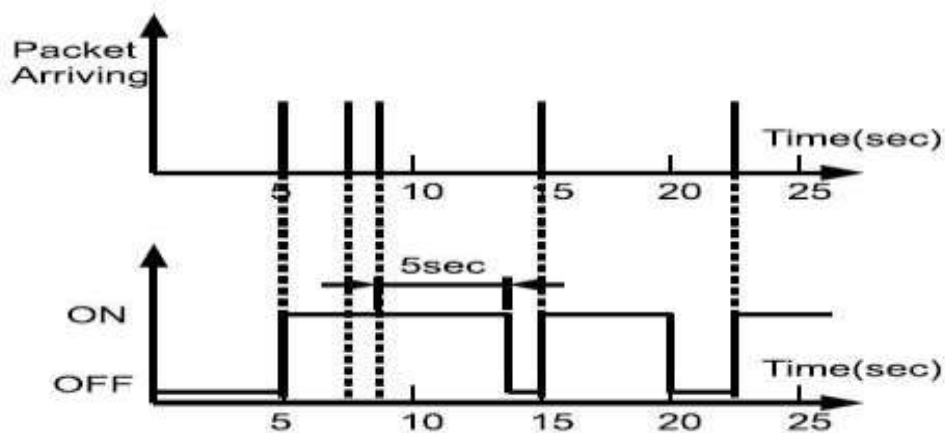
##### 4.4.1 Περιγραφή του ON/OFF μοντέλου

Ένα **ON/OFF** μοντέλο κίνησης αποτελείται από δύο φάσεις, οι οποίες εμφανίζονται σε σειρά, δηλαδή μια φάση **ON** πάντα ακολουθείται από μια φάση **OFF**.

Με το ξεκίνημα της φάσης **ON**, ένας επιλεγμένος κόμβος έχει την δυνατότητα για την αποστολή πακέτου προς ένα συγκεκριμένο προορισμό για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Με την λήξη της φάσης **ON**, ένας κόμβος μπαίνει σε μια φάση ηρεμίας, όπου δεν δημιουργεί καμία κίνηση στον δίκτυο. Αυτή τη φάση την ονομάζουμε **OFF** λόγω αδυναμίας δημιουργίας κίνησης από τον αντίστοιχο κόμβο.



Σχήμα 4.4 : ON/OFF state transition diagram



Σχήμα 4.5 : ON/OFF state transitions with an ON timer of 5 seconds

Στο **ON/OFF** μοντέλο, κάθε **ON** φάση μπορεί να αντιστοιχεί σ'ένα χρονικό διάστημα όπου εμφανίζεται ένας γειτονικός κόμβος μέσ'την περιοχή κάλυψης (sensing range) και κάθε **OFF** στο χρονικό διάστημα όπου δεν εμφανίζεται κανένας γειτονικός κόμβος.

#### 4.4.2 Διαδικασία δημιουργίας ON/OFF μοντέλου

##### 4.4.2.1 Ρύθμιση του Task Configuring Object

Η **ON/OFF** κίνηση δημιουργείται μοντελοποιώντας το Custom Application, επειδή μέσα στα Standard applications δεν υπάρχει αυτό το είδος μορφής κίνησης.

Η διαδικασία κατασκευής της **ON/OFF** κίνησης παρουσιάζεται στα παρακάτω σχήματα, όπου η δημιουργούμενη κίνηση ξεκινάει από το Task Config Object με το task name "tcp\_dump" και μέσω Manual Configuration κατασκευάζουμε δύο φάσεις ( ON και OFF ), οι οποίες λειτουργούν ως εξής : " η φάση OFF ξεκινάει αμέσως μετά την λήξη της ON ", έτσι ώστε να έχουμε μια μορφή κίνησης όπου :

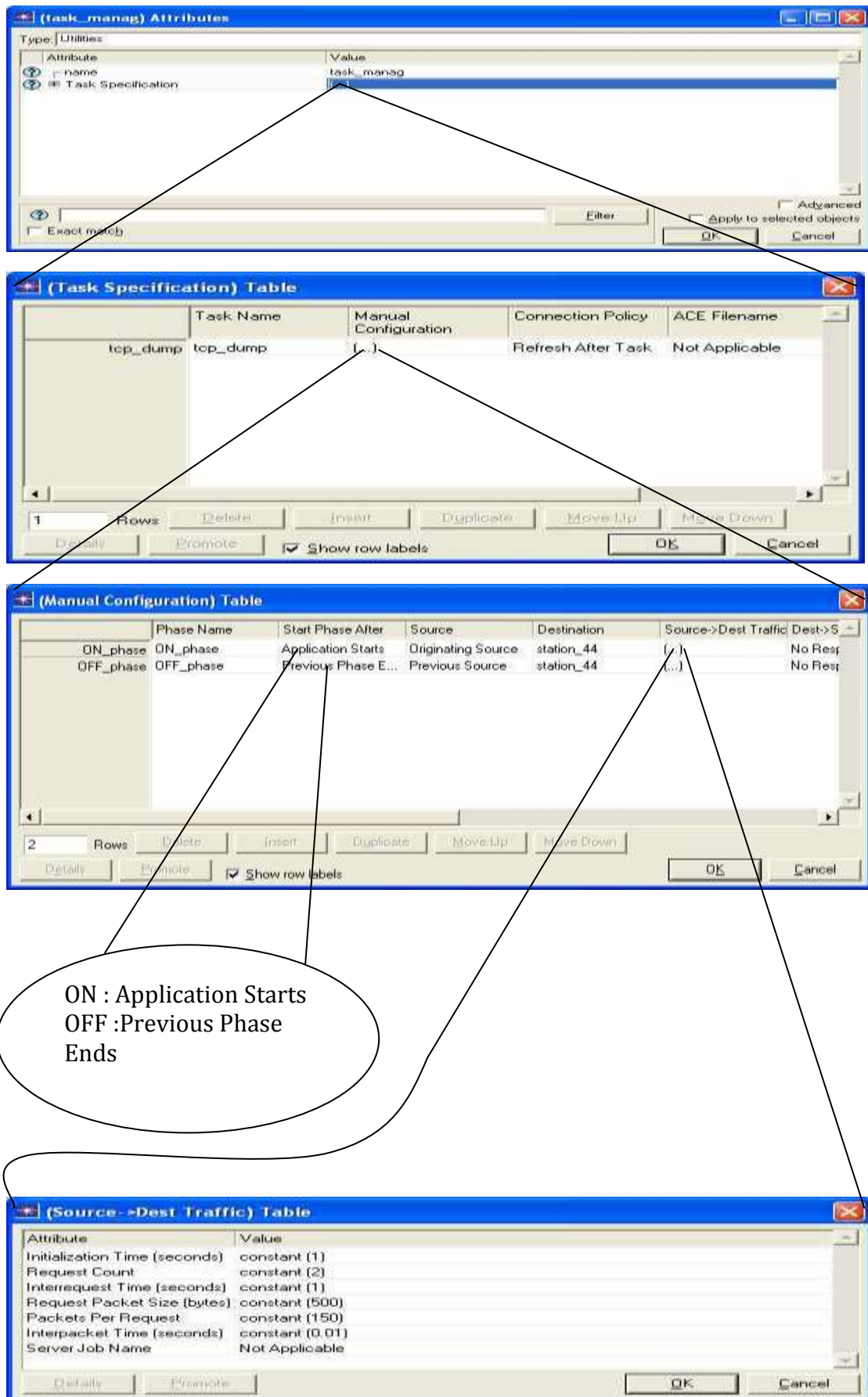
Στην ON φάση να εμφανίζονται αυτοί οι παράμετροι :

- ✓ Request Count : constant(2) (δηλαδή δημιουργία κίνησης με την αποστολή 2 Requests packets από την πηγή προς τον παραλήπτη)
- ✓ Interrequest Time(seconds) : constant(1)
- ✓ Request Packet size(bytes) : constant( $\chi$ )
- ✓ Packets Per Request : constant(150)
- ✓ Interpacket Time(seconds) : constant( $\chi$ )

Όπου το  $\chi$  είναι μια μεταβλητή.

Ενώ στην φάση OFF δεν έχουμε καμία κίνηση και η απάντηση από τον παραλήπτη προς τον αποστολέα δεν επιτρέπεται, έτσι ώστε τελικά να έχουμε μια μονοκατευθυντική κίνηση (unidirectional traffic).

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η ανάπτυξη κίνησης:

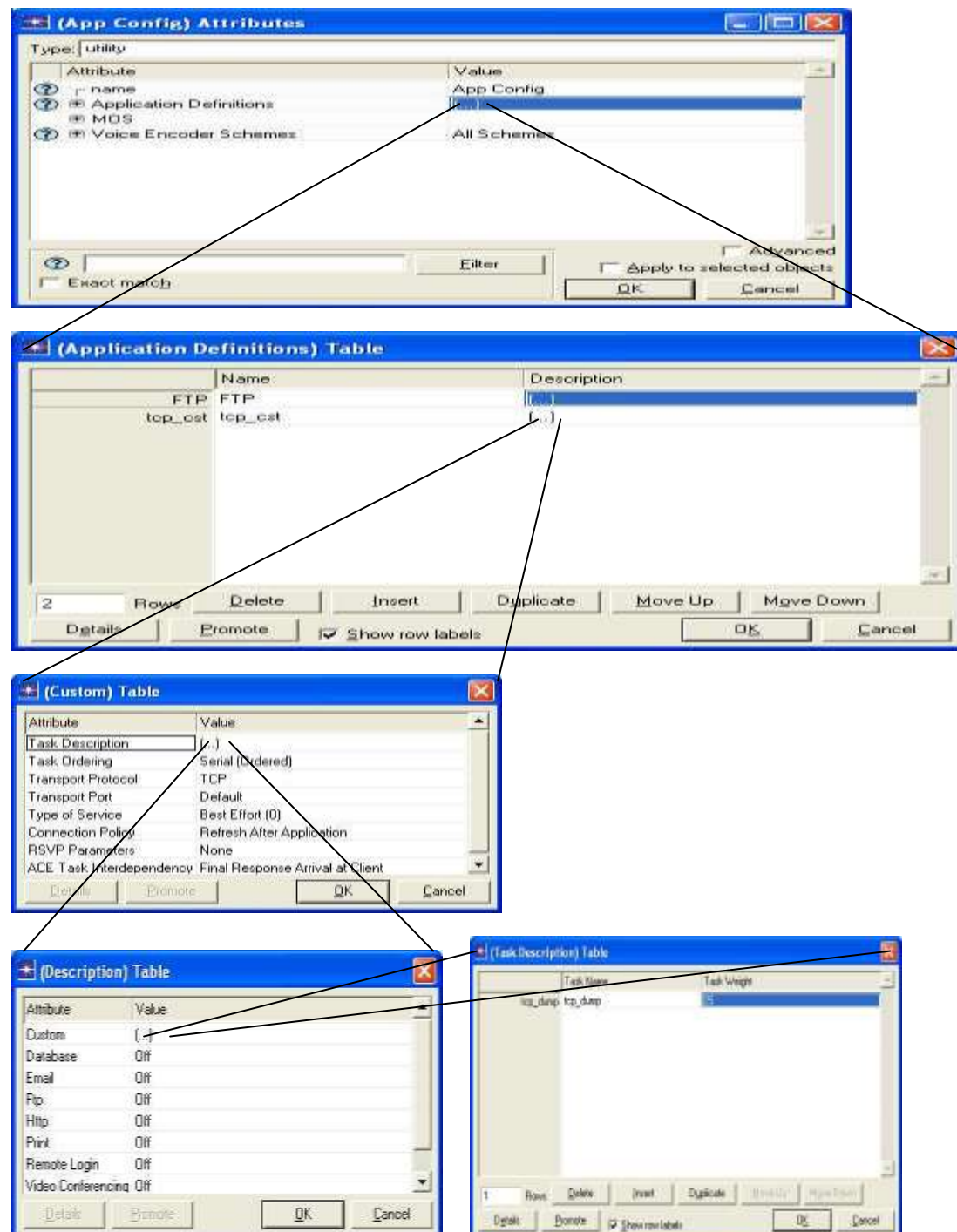


**Σχήμα 4.6 :** Configuring parameters in the Task Configuration Object



#### 4.4.2.2 Ρύθμιση του Configuring the Application Config Object

Μετά την ολοκλήρωση του ορισμού του tasks (για την δημιουργία ON/OFF κίνησης) στο custom application από το Application Config Object, πρέπει να ορίσουμε το Application definitions το οποίο το ονομάζουμε “tcp\_cst”. Το πρωτόκολλο δρομολόγησης, το οποίο χρησιμοποιείται για αυτή την εφαρμογή είναι το TCP και φαίνεται στο Custom Table (σχήμα 4.7). Επίσης, το task (tcp\_dump) το οποίο ορίστηκε στο Task Config Object αναπτύσσεται στο Task Description Table του Application Config.

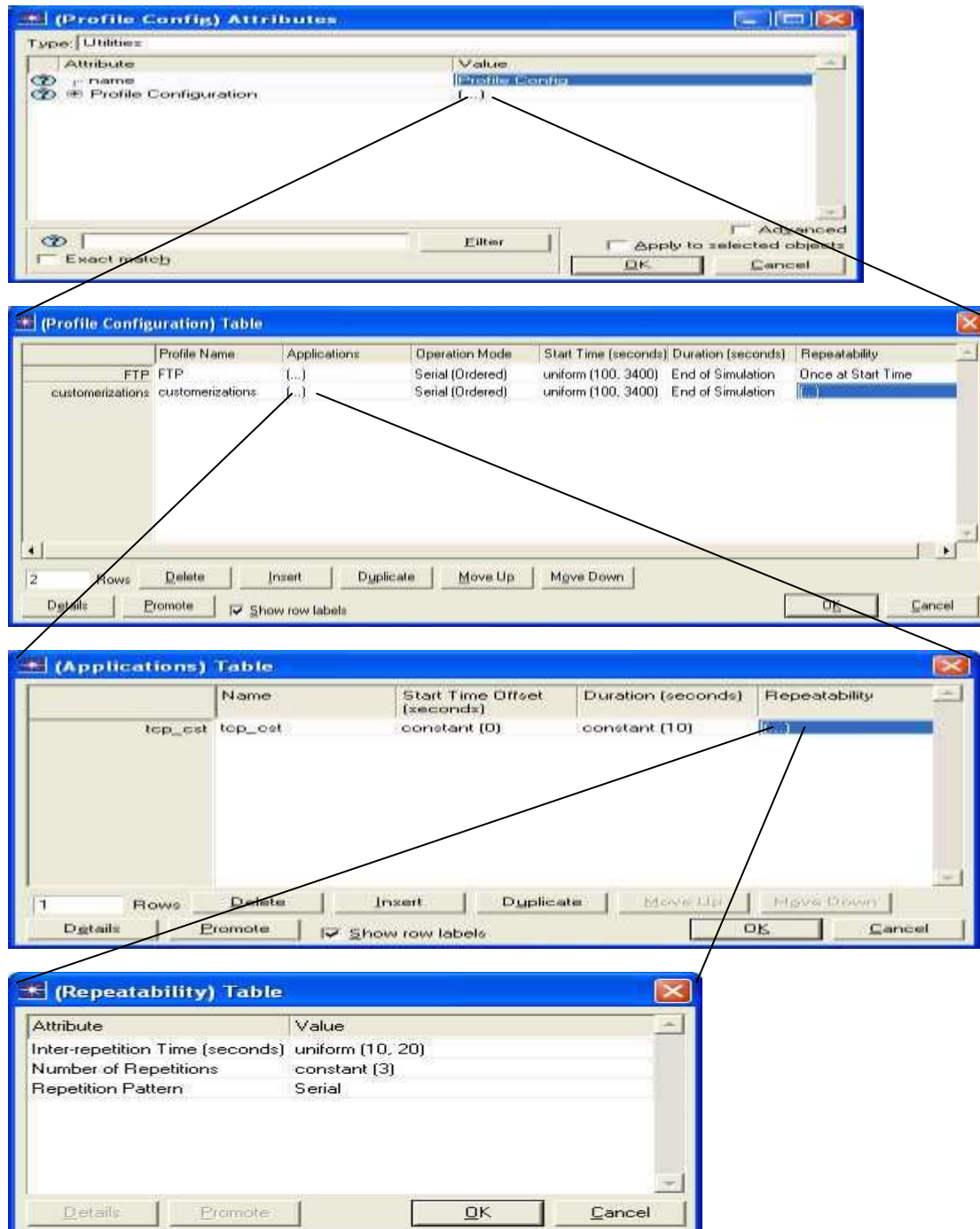


Σχήμα 4.7: Configuring Parameters in the Application Definition Object



#### 4.4.2.3 Ρύθμιση του Configuring the Profile Configuration Object

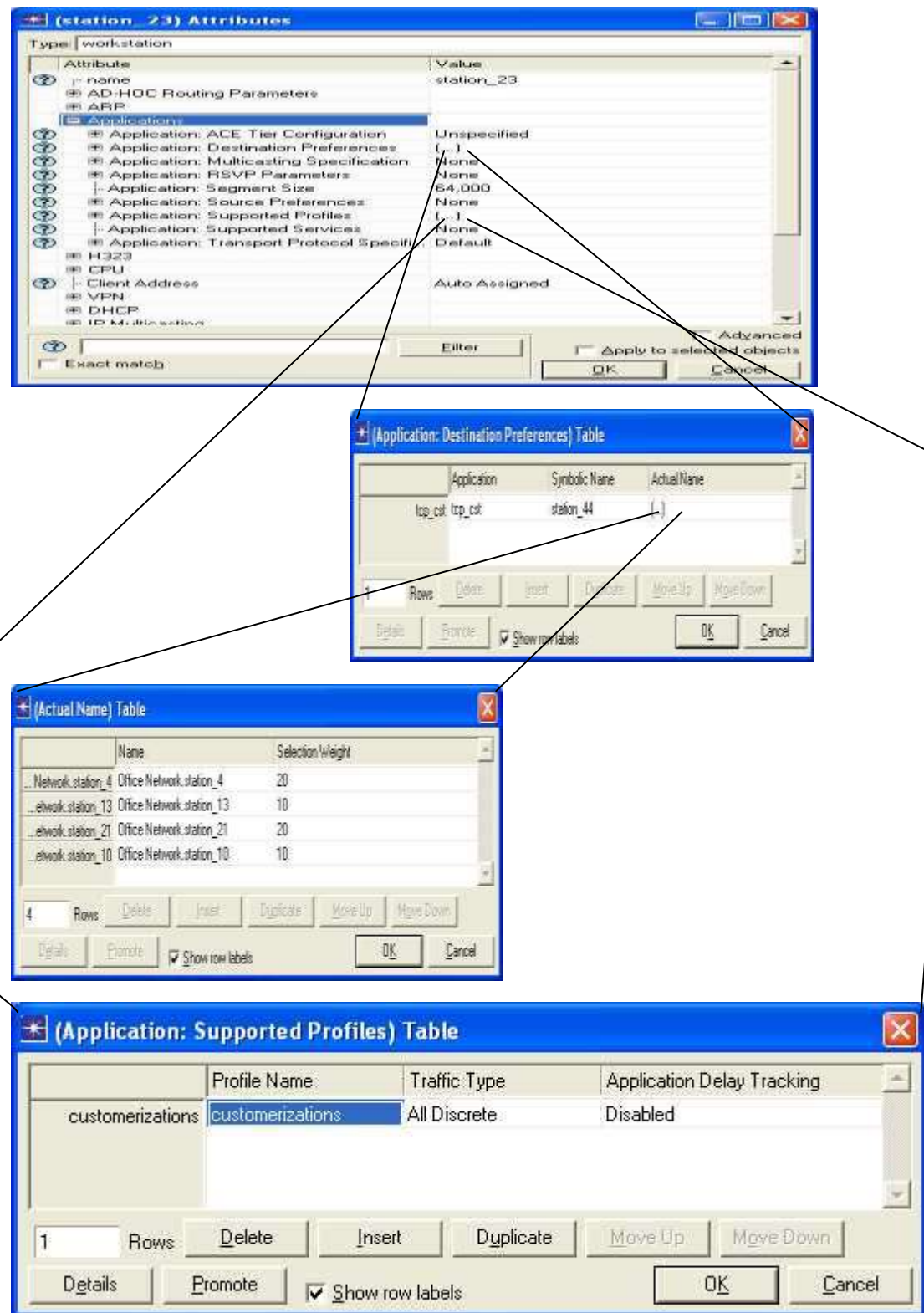
Μετά τον ορισμό του Custom Application (παράγραφο 2.2), θα το χρησιμοποιήσουμε στο Profile Config Object. Στο μοντελοποιημένο δίκτυο της διπλωματικής εργασίας, το λεγόμενο profile named “customerizations”, ξεκινάει να τρέξει στα 100 seconds και τελειώνει στο τέλος της προσομοίωσης. Το Custom Application “tcp\_cst” αναπτύσσεται στο Application Table του Profile ConfigurationTable (σχήμα 4.8) και ξεκινάει να τρέξει χωρίς καμία αρχική χρονική μετάθεση (start time offset) και διαρκεί 10 seconds.



Σχήμα 4.8: Configuring Parameters in the Profile Configuration Object

Το παραπάνω profile θα αναπτυχθεί σε κάθε επιλεγμένο sensor node του δικτύου για την δημιουργία κίνησης.

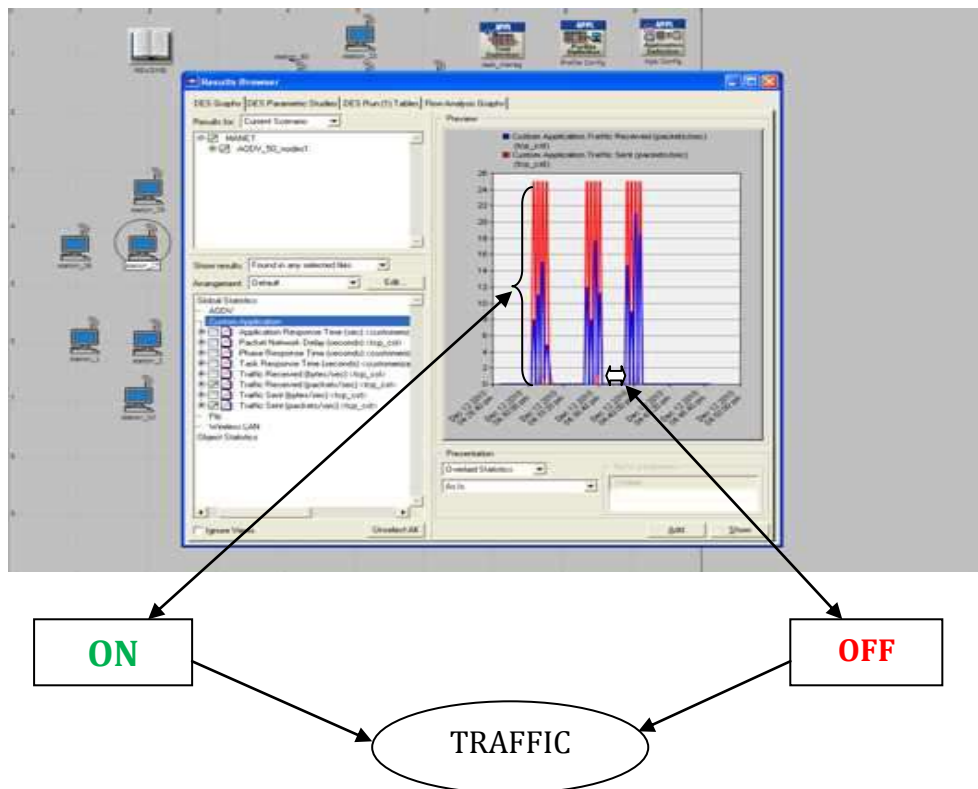
Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η διαδικασία ανάπτυξης σε ένα τυχαίο κόμβο :



**Σχήμα 4.9:** Deploying defined profile in source node

## Κεφάλαιο 5

# ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



### ❖ Περιεχόμενα των σεναρίων 1 και 2 :

5.1 Περιγραφή σεναρίου

5.2 Πρώτο σενάριο

5.3 Δεύτερο σενάριο

Κάθε σενάριο περιέχει :

1<sup>ο</sup> μέρος

Customer Application

2<sup>ο</sup> μέρος

Σύγκριση AODV ΚΑΙ DSR

3<sup>ο</sup> μέρος

3.1 DSR εφαρμογή

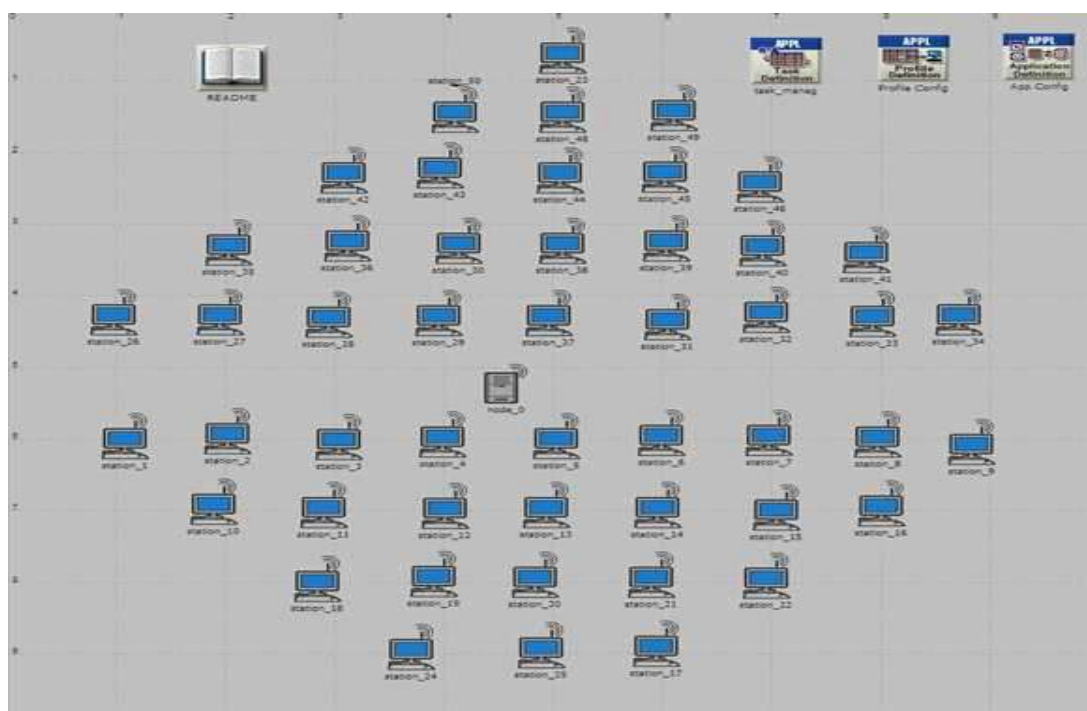
3.2 AODV εφαρμογή

## 5.1 Περιγραφή σεναρίου

Το συγκεκριμένο κεφάλαιο έχει δύο σενάρια, όπου το δεύτερο διαφέρει από το πρώτο ως προς το πρωτόκολλο δρομολόγησης.

Το πρότυπο σενάριο αποτελείται από :

- ✓ 49 Manet mobilestations (με εφαρμοσμένο AODV ή DSR πρωτόκολλο δρομολόγησης ανάλογα με το σενάριο)
- ✓ όλα τα mobilestations ρυθμίζονται για Ad hoc λειτουργία
- ✓ Ένα Task Definition
- ✓ Ένα Application Definition
- ✓ Ένα Profile Definition
- ✓ Το δίκτυο αναπτύσσεται σε μια τριγωνική γεωγραφική περιοχή με διάσταση 4000m\*4000m



**Σχήμα 5.1:** πρότυπο δικτύου

Το τρέξιμο της προσομοίωσης έγινε με τις ακόλουθες παραμέτρους :

- ✓ Duration : 3600seconds
- ✓ Seed : 128
- ✓ Value per statistic : 100
- ✓ Update interval : 100000 events
- ✓ Simulation Kernel : Based on kernel\_type preference

## 5.2 Πρώτο σενάριο

Στο σενάριο αυτό στέλνεται κίνηση από 10 κόμβους πάνω σε 10 κόμβους κάτω, όπου καθένας από τους παραπάνω κόμβους στέλνει πακέτα σε τέσσερις διαφορετικούς κόμβους .

Επιλέγουμε τους παρακάτω κόμβους ως κόμβους δημιουργίας Sensor Traffic :

<u><b>Senders</b></u>	<u><b>Receivers</b></u>
➤ Ο Κόμβος 23	→ 4, 13, 21, 10
➤ Ο Κόμβος 50	→ 2, 7, 11, 9
➤ Ο Κόμβος 48	→ 7, 15, 9, 25
➤ Ο Κόμβος 42	→ 13, 4, 16, 24
➤ Ο Κόμβος 46	→ 16, 19, 3, 4
➤ Ο Κόμβος 31	→ 10, 5, 24, 13
➤ Ο Κόμβος 39	→ 6, 20, 12, 15
➤ Ο Κόμβος 30	→ 24,3,22,17
➤ Ο Κόμβος 26	→ 20, 16, 1, 3
➤ Ο Κόμβος 33	→ 22, 17, 4, 11

### 1<sup>ο</sup> μέρος

Σε κάθε σενάριο συλλέγουμε :

=> **Customer Application**

1. **Packet Network Delay**

2. **Traffic Sent και Received**

### **Customer Application**

Σε κάθε προσομοίωση τροποποιούμε ως εξής τις παραμέτρους του Customer Task :

1)



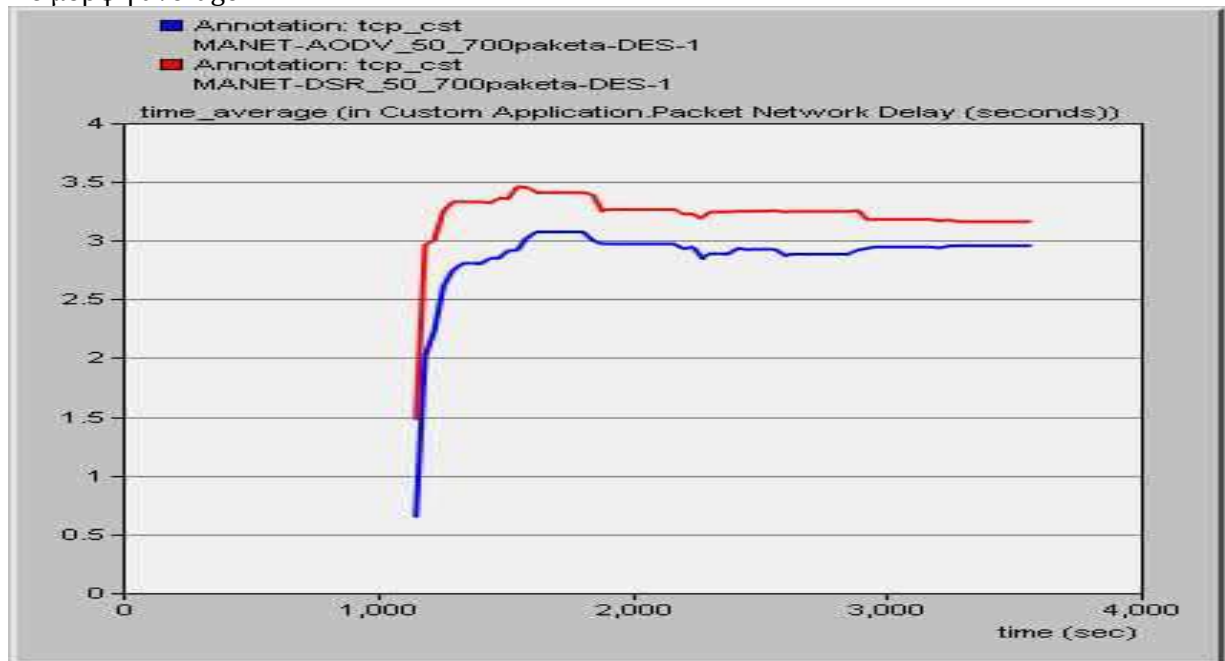
- ✓ **Μέγεθος πακέτου : constant (700 bytes)**
- ✓ **Inter-arrival Time : constant (0.01 second)**
- ✓ **Packets per request : constant (150 )**

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και συγκρίνουμε τα πρωτόκολλα δρομολόγησης AODV και DSR ως προς την επίδοσή τους .

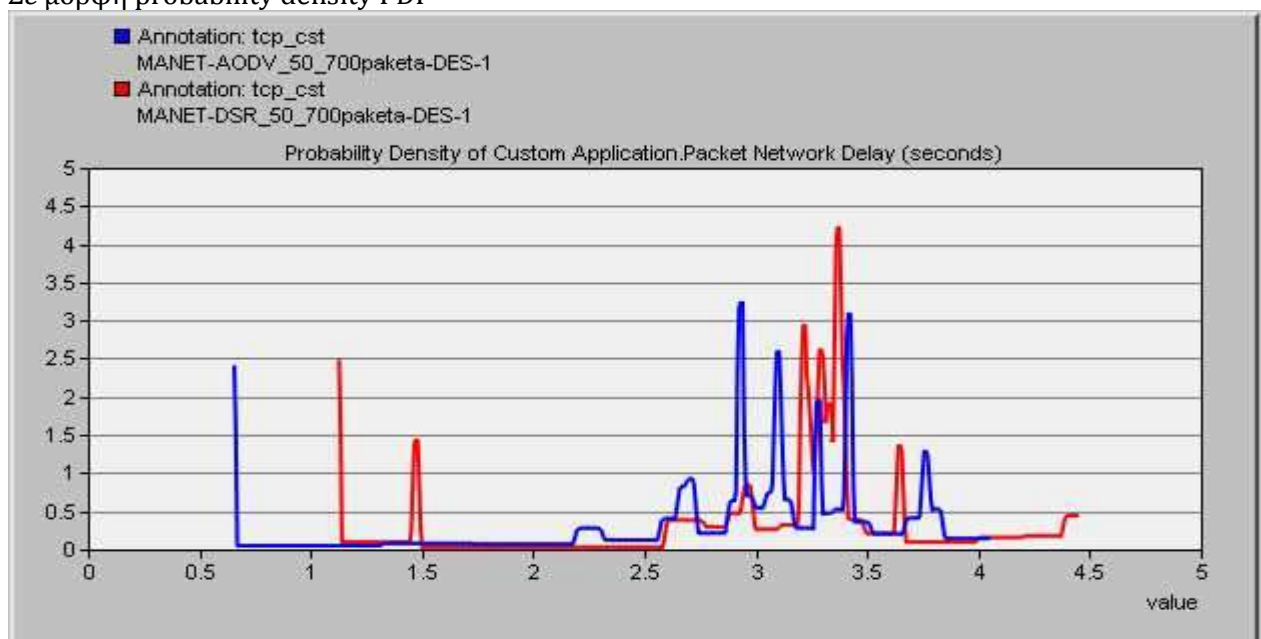
## 1. Customer Application

### 1.1 Packet Network Delay

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF



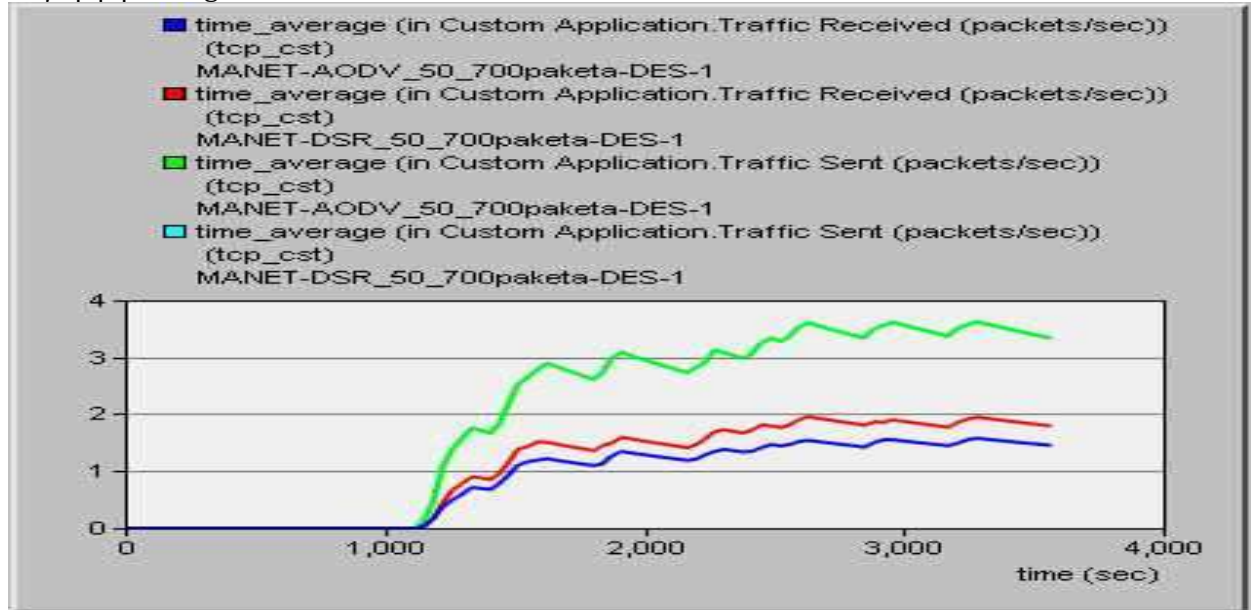
Παρατηρούμε ότι στο πρωτόκολλο DSR εμφανίζεται μεγάλη καθυστέρηση στο δίκτυο κατά την δρομολόγηση.



## 1.2 Όλα τα Traffic Sent και Received μαζί

Σε packets/sec :

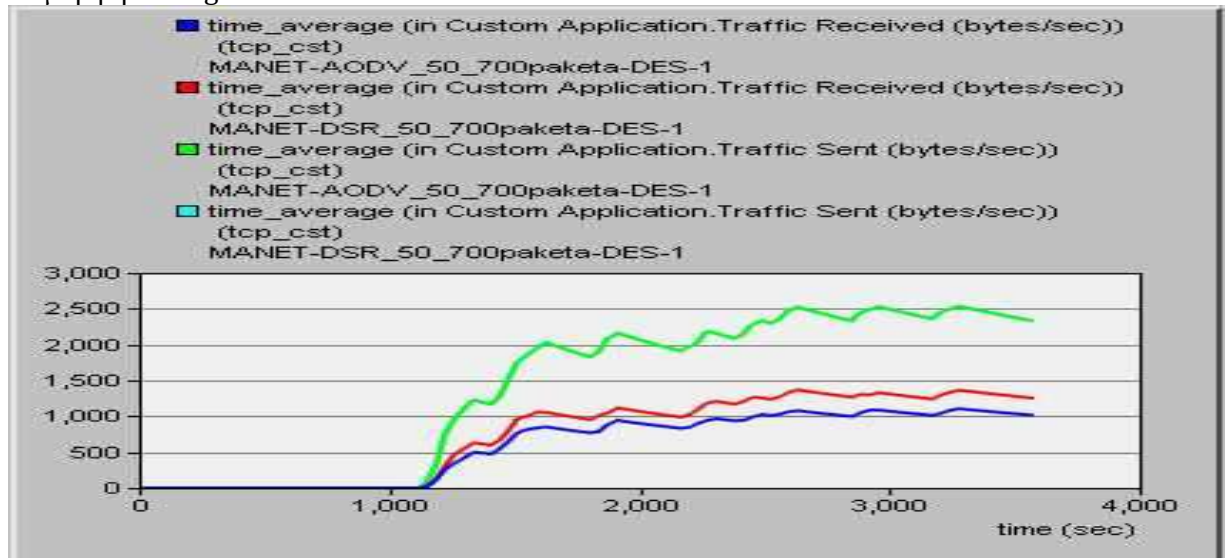
Σε μορφή average



Παρατηρούμε ότι για τον ίδιο όγκο κίνησης που εισάγεται στο δίκτυο (Traffic Send ), το ποσοστό των λαμβανόμενων πακέτων με το πρωτόκολλο DSR είναι μεγαλύτερο από εκείνο του AODV, αν και παραπάνω παρατηρήσαμε ότι με το DSR παρουσιάζεται μεγαλύτερη καθυστέρηση πακέτων στο δίκτυο(Packet Network Delay) συγκριτικά με το AODV .

Σε bytes/sec :

Σε μορφή average



Τα ίδια αποτελέσματα παρουσιάζονται στην παραπάνω γραφική σε μορφή bytes/sec, όπου βλέπουμε ότι κατά μέσο όρο λαμβάνονται περίπου 1350 bytes/sec στην περίπτωση του DSR ενώ στον AODV λιγότερα .

2)

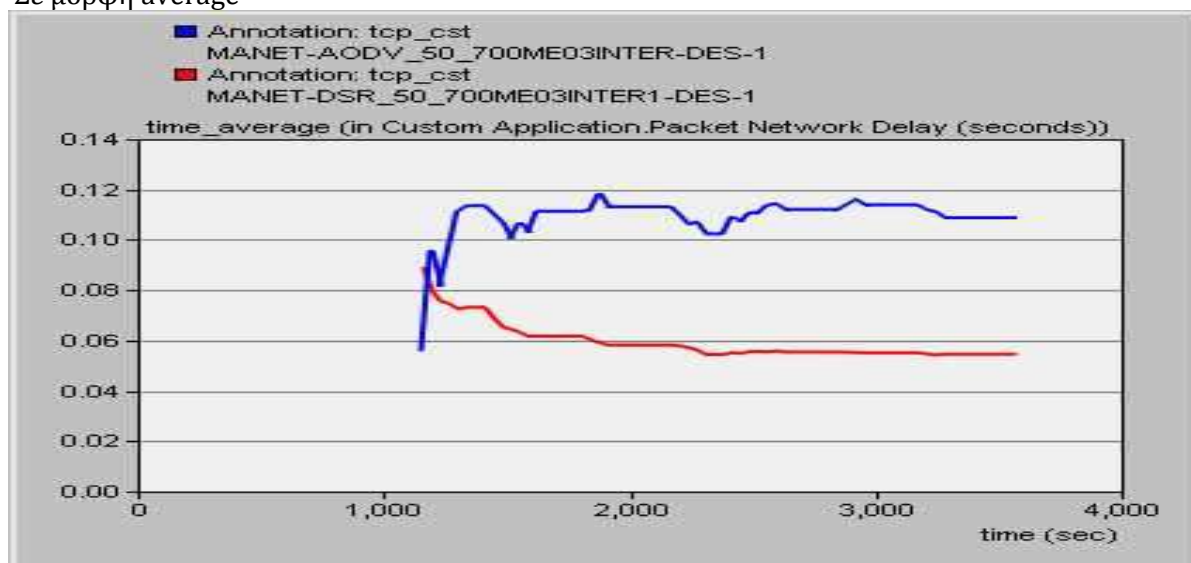


- ✓ Μέγεθος πακέτου : constant (700 bytes)
- ✓ **Inter-arrival Time : constant (0.3 second)**
- ✓ Packets per request : constant (150 )

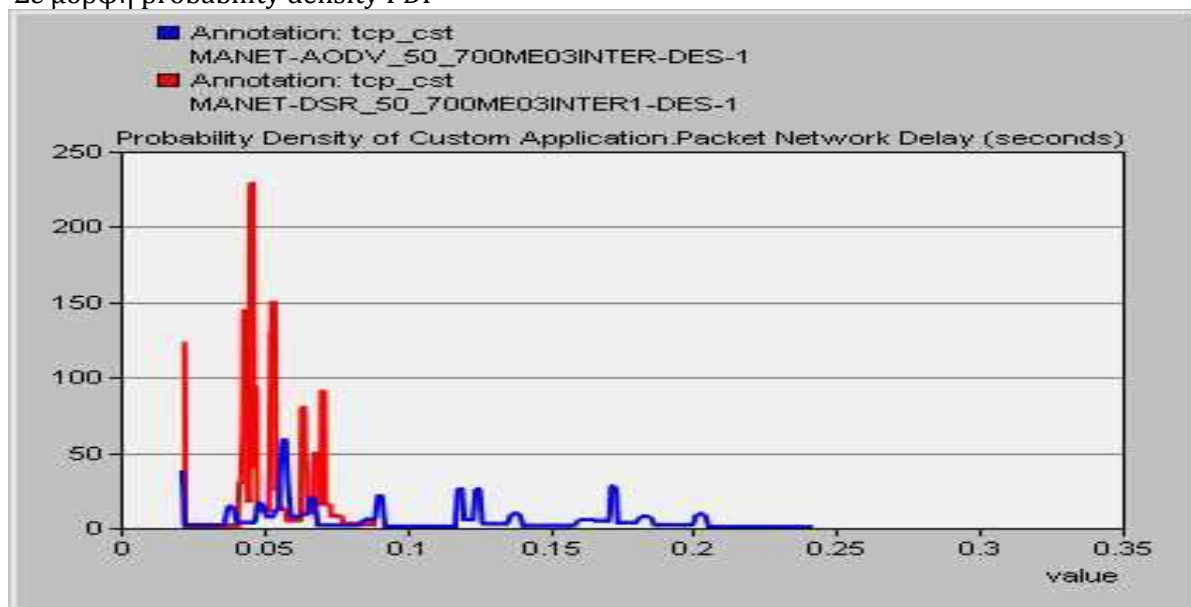
## 2. Customer Application

### 2.1 Packet Network Delay

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF



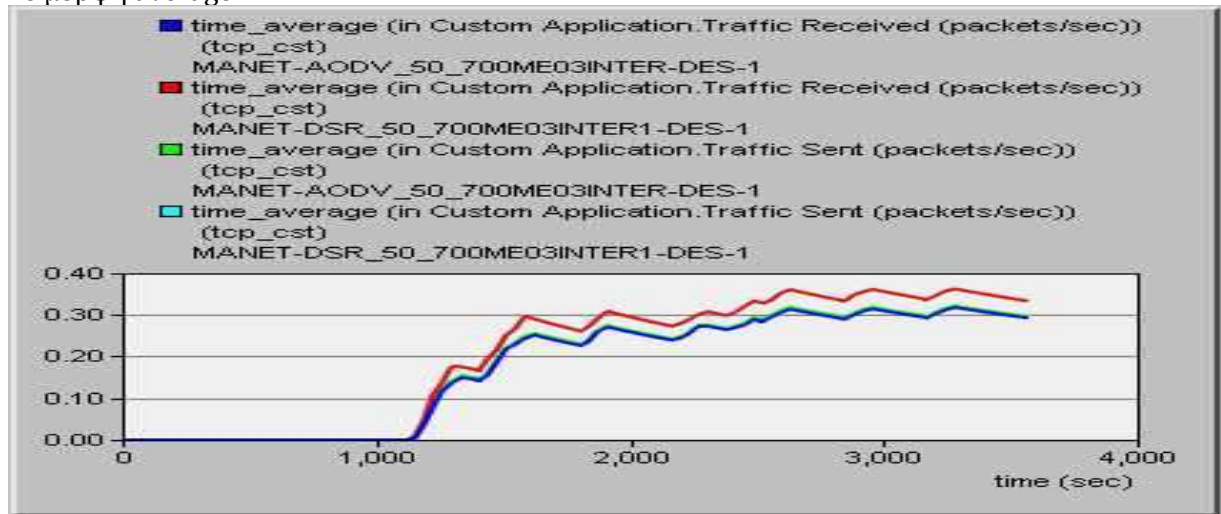
Παρατηρούμε ότι αυξάνοντας το Interarrival Time (Από 0.01 σε 0.3 sec), το DSR εμφανίζει σε αυτή την περίπτωση μικρότερη καθυστέρηση(σχεδόν σταθερή) στην δρομολόγηση σε σχέση με το AODV .



## 2.2 Όλα τα Traffic sent και Received μαζί

Σε packets/sec :

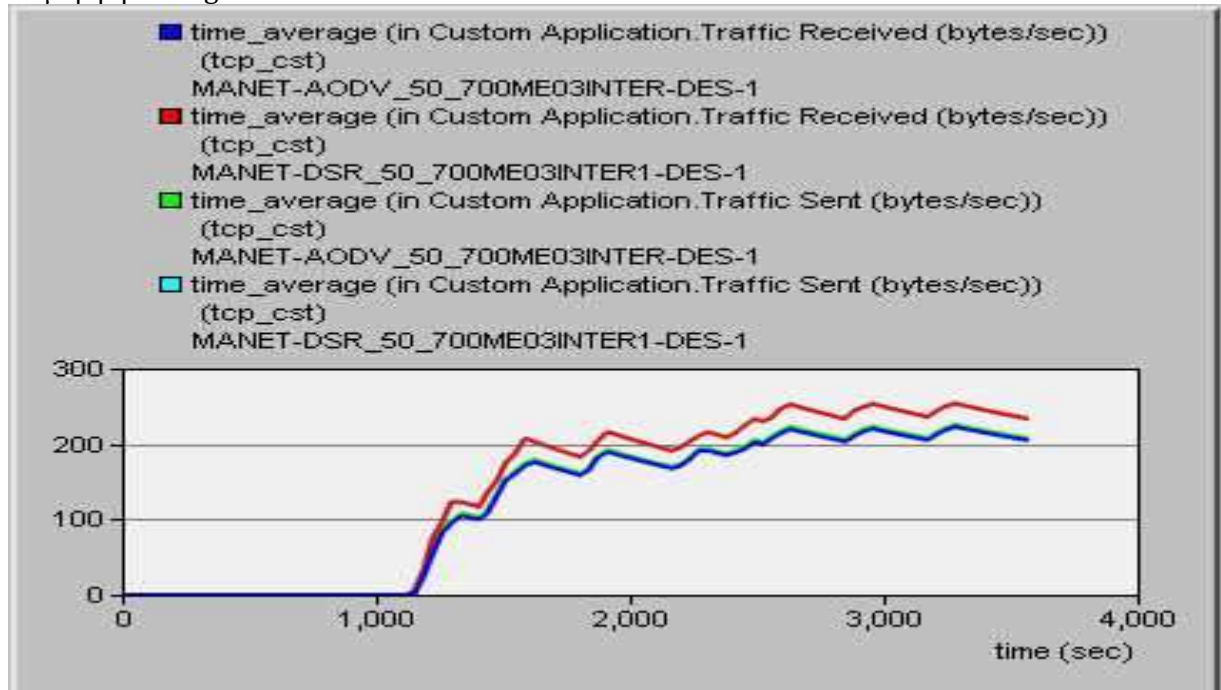
Σε μορφή average



Παρατηρούμε ότι εμφανίζονται δύο διαφορετικοί όγκοι κίνησης μέσα στο δίκτυο, όπου με το DSR στέλνονται περισσότερα πακέτα(Traffic Send ) σε σχέση με το AODV. Όμως το ποσοστό των λαμβανόμενων πακέτων είναι σχεδόν ίδιο και στις δύο περιπτώσεις με το ποσοστό των σταλμένων πακέτων.

Σε bytes/sec :

Σε μορφή average



Εδώ παρουσιάζουμε την κίνηση (Traffic Sent and Received) σε μορφή bytes/sec, όπου βλέπουμε ότι κατά μέσο όρο λαμβάνονται περίπου 240 bytes/sec στην περίπτωση του DSR ενώ στο AODV λιγότερα .

3)

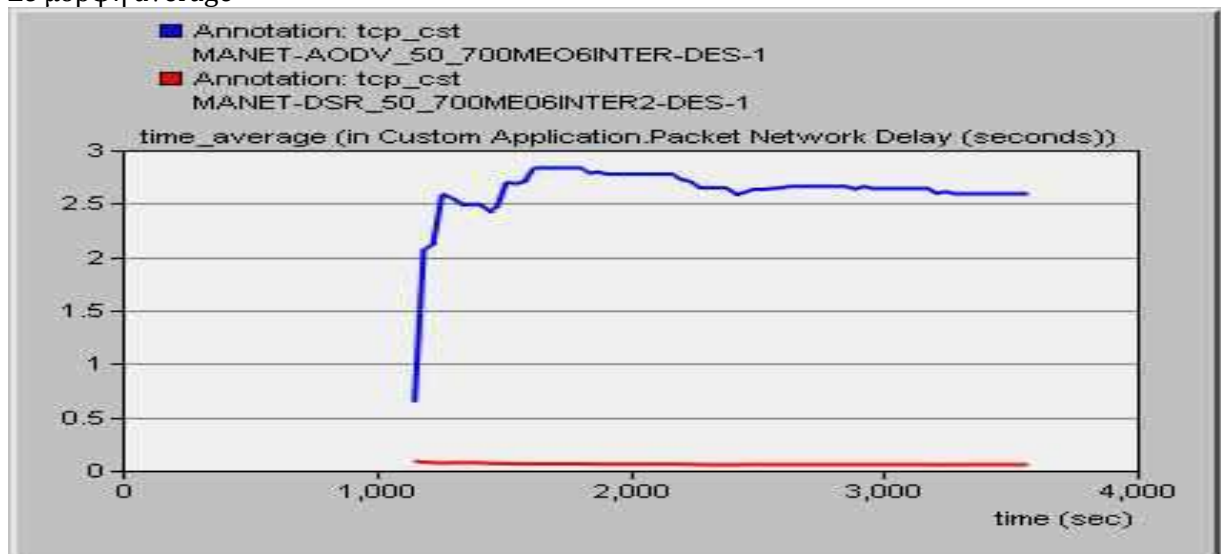


- ✓ Μέγεθος πακέτου : constant (700 bytes)
- ✓ **Inter-arrival Time : constant (0.6 second)**
- ✓ Packets per request : constant (150 )

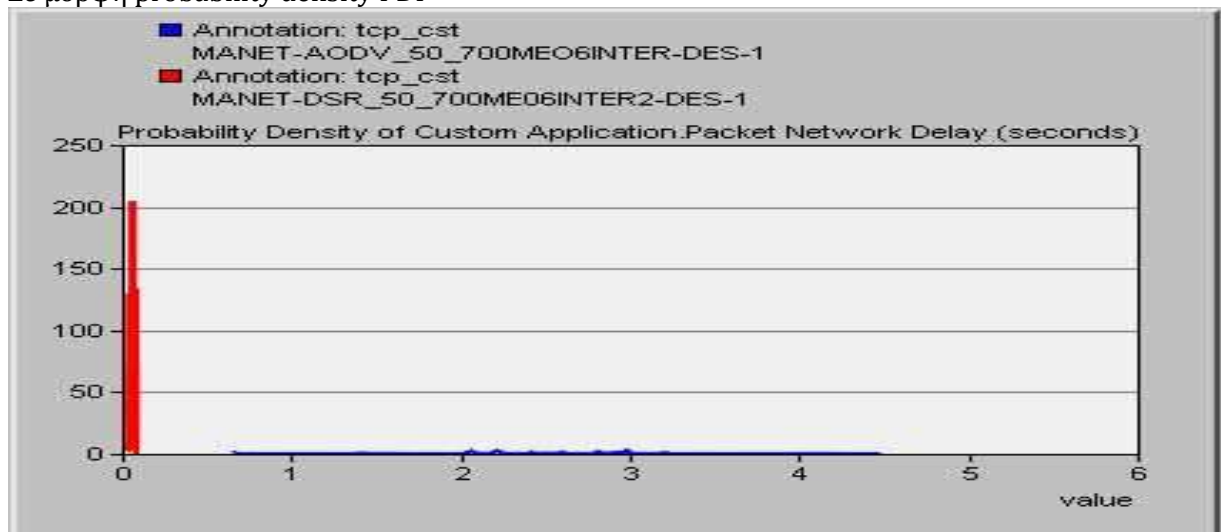
### 3. Customer Application

#### 3.1 Packet Network Delay

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF

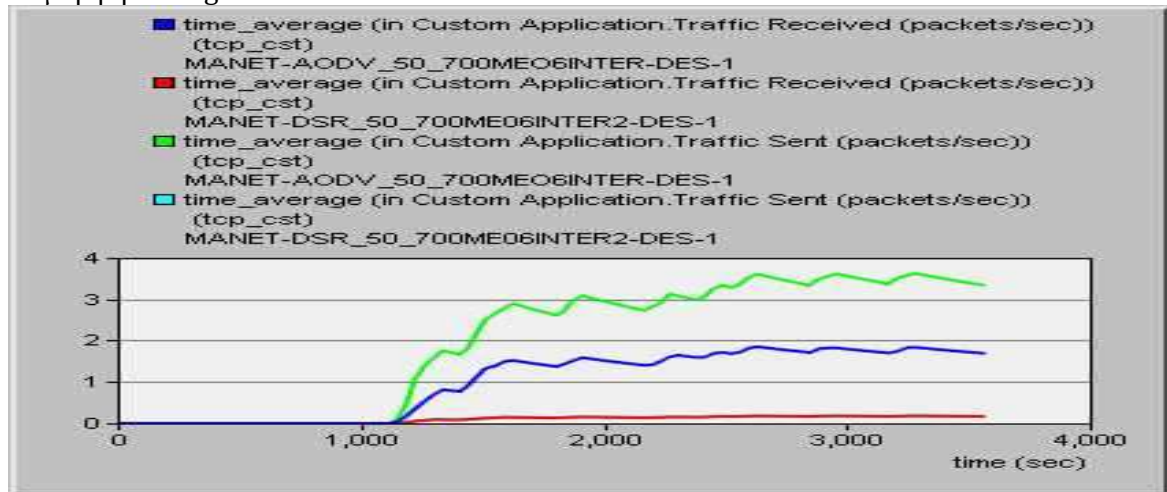


Παρατηρούμε ότι, όσο μεγαλώνει το Interarrival Time(από 0.01sec σε 0.6sec ), τόσο μικραίνει η καθυστέρηση δρομολόγησης στο δίκτυο(Packet Network Delay) με το πρωτόκολλο DSR, ενώ με το AODV συμβαίνει το αντίθετο. Επομένως, η καθυστέρηση δρομολόγησης των πακέτων στο δίκτυο είναι πολύ μικρή(σχεδόν σταθερή) με το DSR.

### 3.2 Όλα τα Traffic sent και Received μαζί

Σε packets/sec :

Σε μορφή average

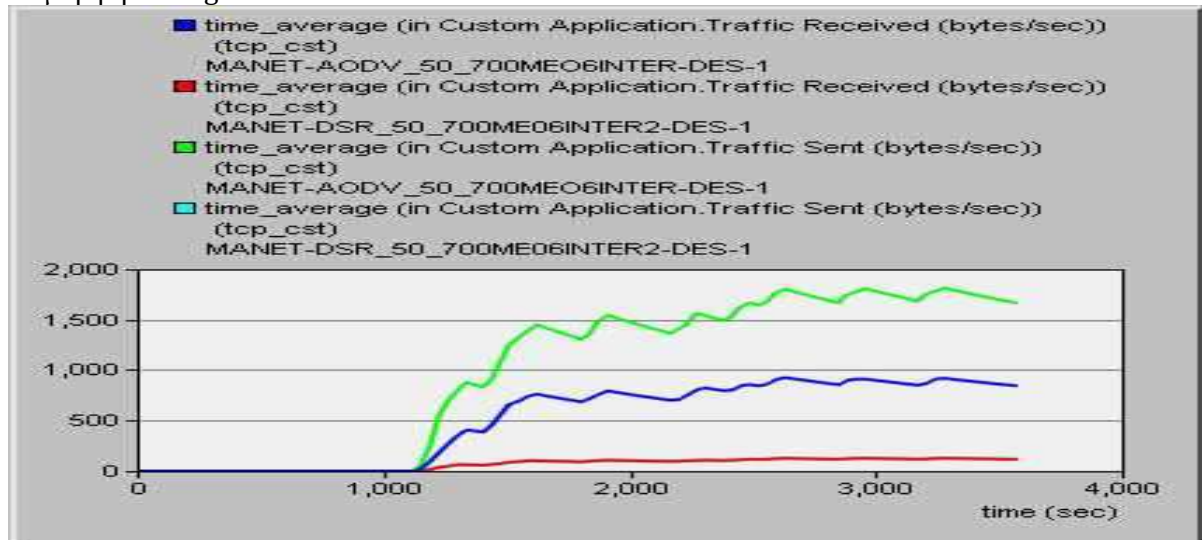


Παρατηρούμε ότι εμφανίζονται δύο διαφορετικοί όγκοι κίνησης στο δίκτυο με την αύξηση του Interarrival Time (από 0.01 σε 0.6 sec), όπου με το AODV στέλνονται πολλά πακέτα και λαμβάνονται πολύ λίγα, ενώ με το DSR το ποσοστό των πακέτων που στέλνεται και λαμβάνεται φαίνεται να είναι ίδιο.

Επομένως, μπορούμε να πούμε ότι διατηρώντας το μέγεθος του πακέτου σταθερό και αυξάνοντας ταυτόχρονα το Interarrival Time, χειροτερεύει η απόδοση του πρωτοκόλλου AODV.

Σε bytes/sec :

Σε μορφή average



Παρουσιάζεται ξανά η κίνηση (Traffic Sent and Received) σε μορφή bytes/sec, όπου βλέπουμε ότι κατά μέσο όρο λαμβάνονται 850 bytes/sec στην περίπτωση του AODV.

4)

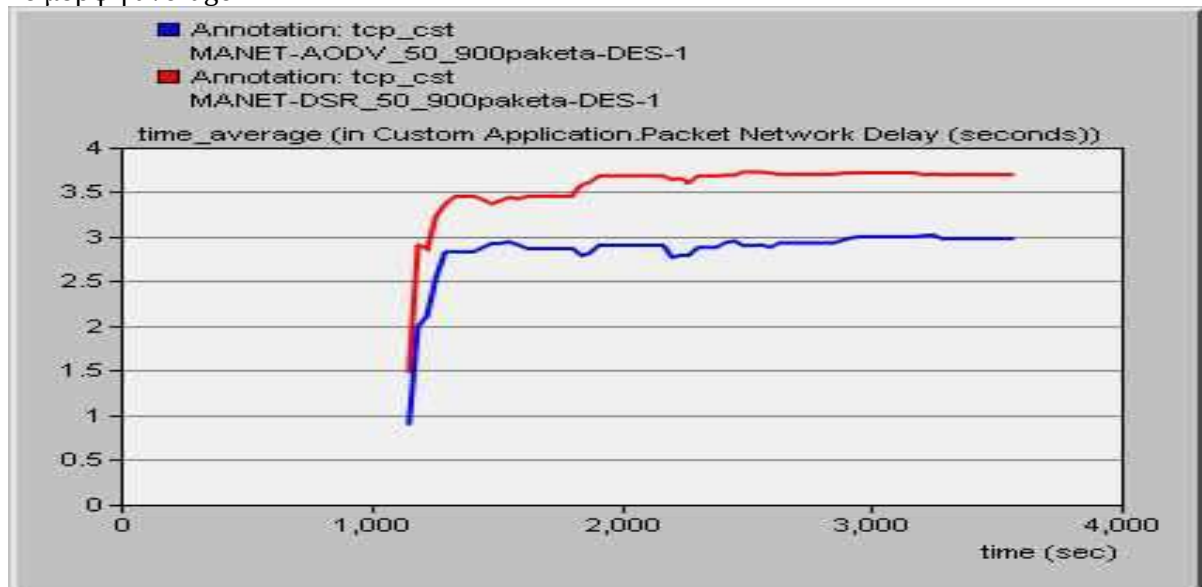


- ✓ Μέγεθος πακέτου : constant (900 bytes)
- ✓ Inter-arrival Time : constant (0.01 second)
- ✓ Packets per request : constant (150 )

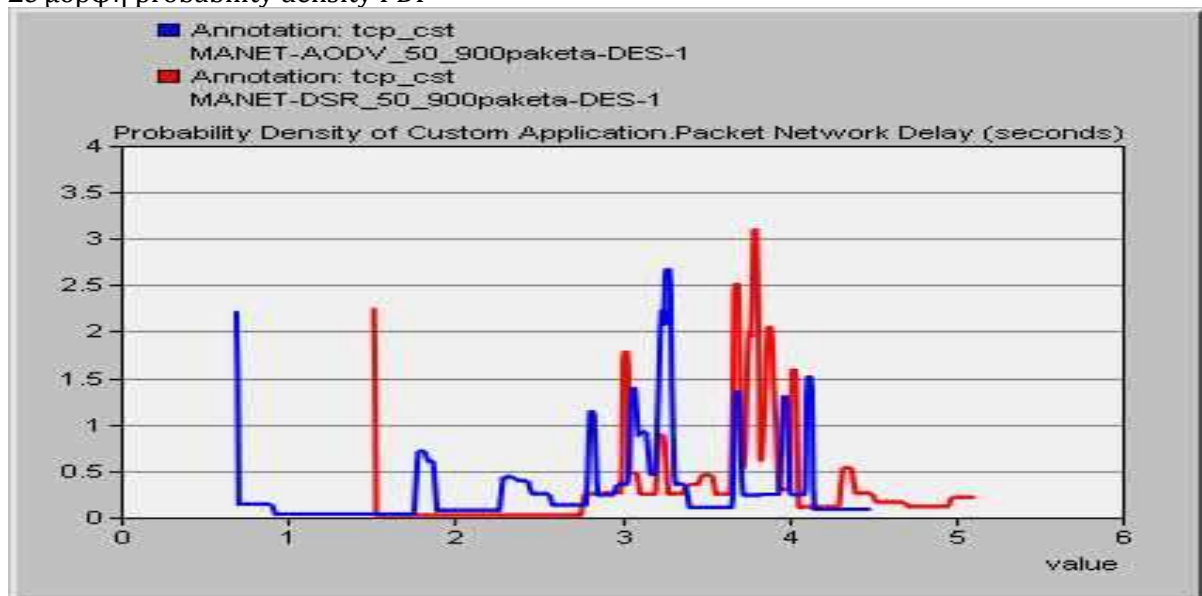
#### 4. Customer Application

##### 4.1 Packet Network Delay

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF

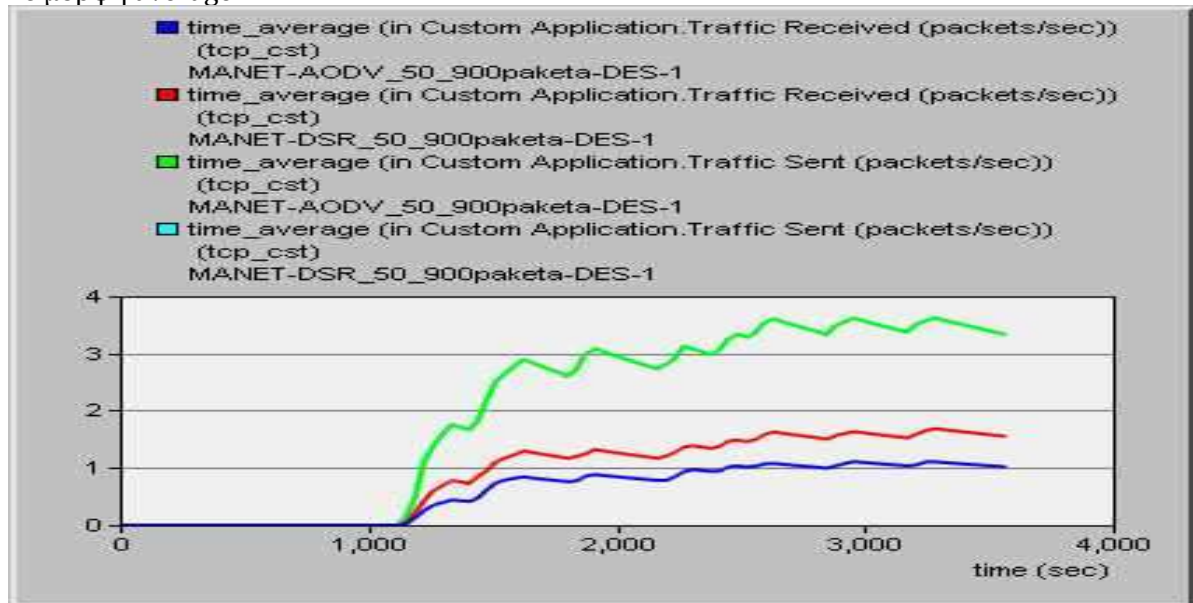


Παρατηρούμε ότι, αν και το μέγεθος του πακέτου αυξήθηκε( από 700 σε 900bytes), μειώνοντας το Interarrival Time(από 0.6 sec σε 0.01sec) εμφανίζεται μεγάλη καθυστέρηση δρομολόγησης πακέτου με το πρωτόκολλο DSR σε σχέση με το AODV.

## 4.2 Όλα τα Traffic sent και Received μαζί

Σε packets/sec :

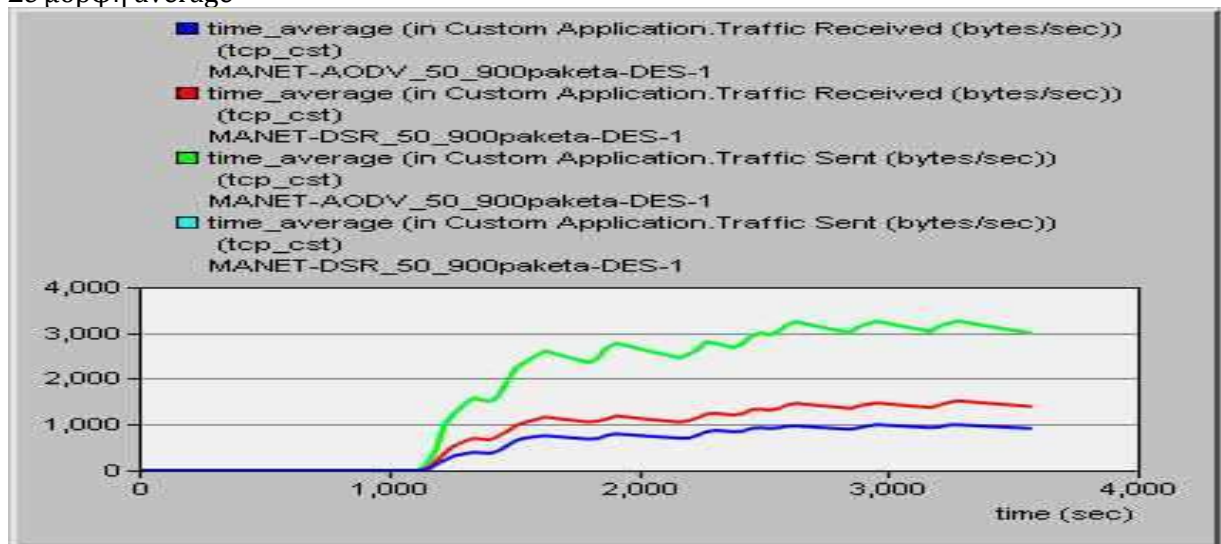
Σε μορφή average



Παρατηρούμε ότι για τον ίδιο όγκο κίνησης που εισάγεται στο δίκτυο (Traffic Send ), το ποσοστό των πακέτων που λαμβάνεται με το πρωτόκολλο δρομολόγησης DSR είναι μεγαλύτερο από εκείνο του AODV.

Σε bytes/sec :

Σε μορφή average



Παραπάνω παρουσιάζεται η κίνηση (Traffic Sent and Received) σε μορφή bytes/sec, όπου βλέπουμε ότι κατά μέσο όρο λαμβάνονται 1400 bytes/sec στην περίπτωση του DSR, ενώ στον AODV λιγότερα .



5)

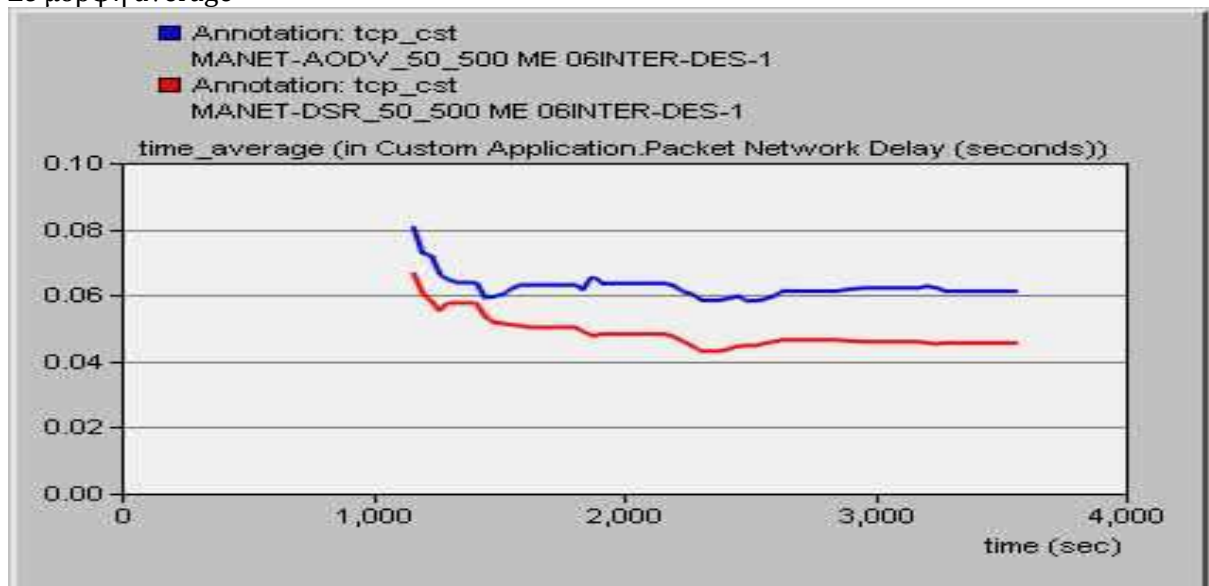


- ✓ Μέγεθος πακέτου : constant (500 bytes)
- ✓ Inter-arrival Time : constant (0.6 second)
- ✓ Packets per request : constant (150 )

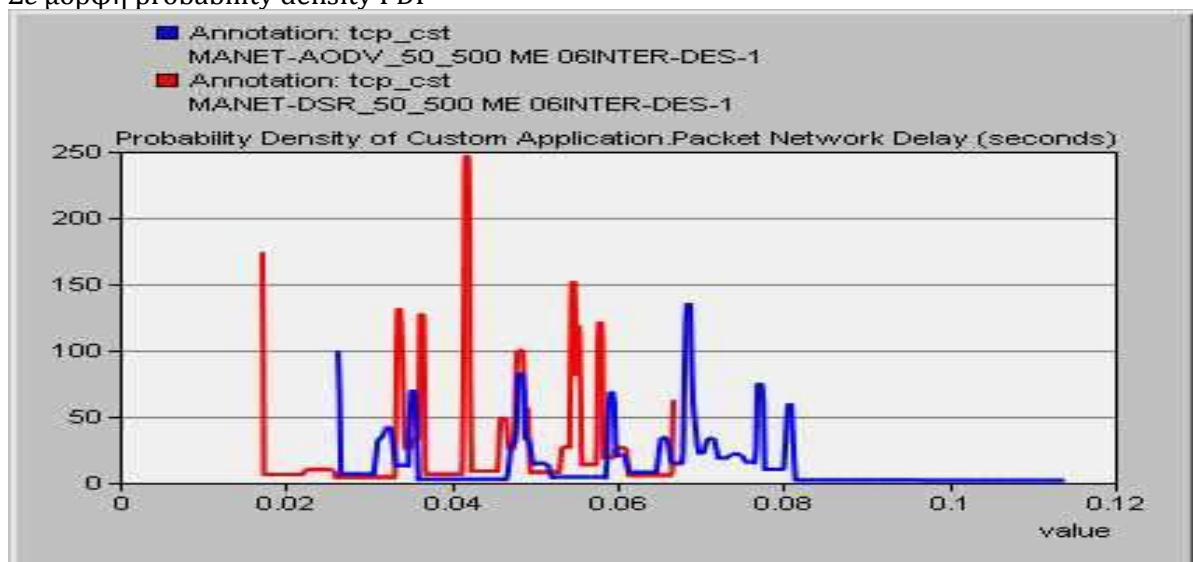
## 5. Customer Application

### 5.1 Packet Network Delay

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF

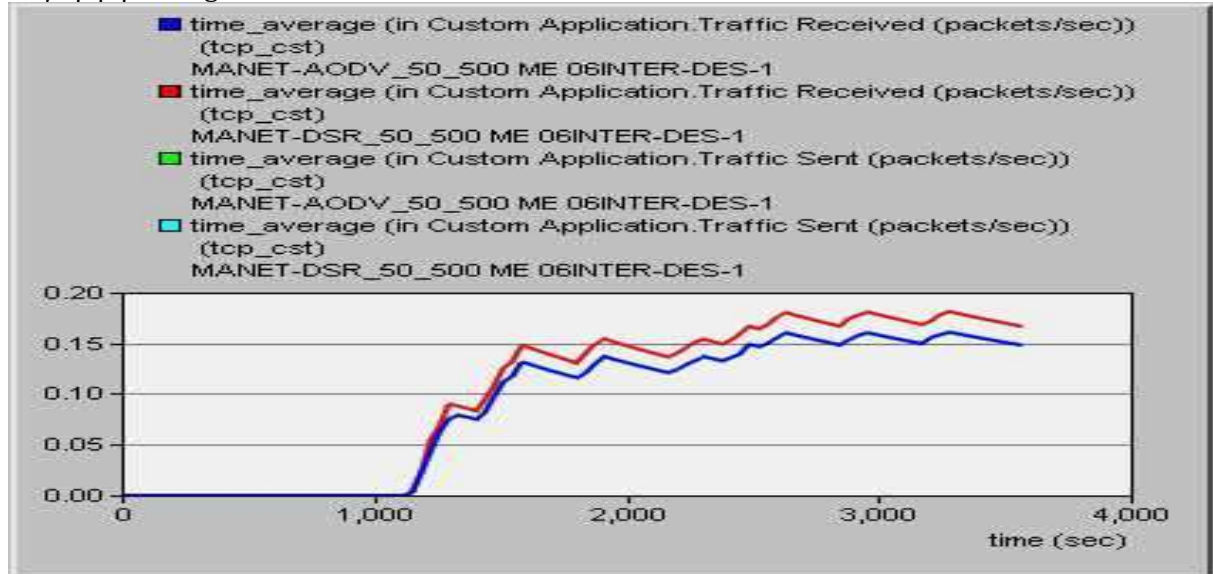


Παρατηρούμε ότι μικραίνοντας το μέγεθος πακέτου(από 700 σε 500bytes) και αυξάνοντας το Interarrival Time(από 0.01sec σε 0.6sec), το DSR εμφανίζει μικρή καθυστέρηση δρομολόγησης των πακέτων στο δίκτυο.

## 5.2 Όλα τα Traffic sent και Received μαζί

Σε packets/sec :

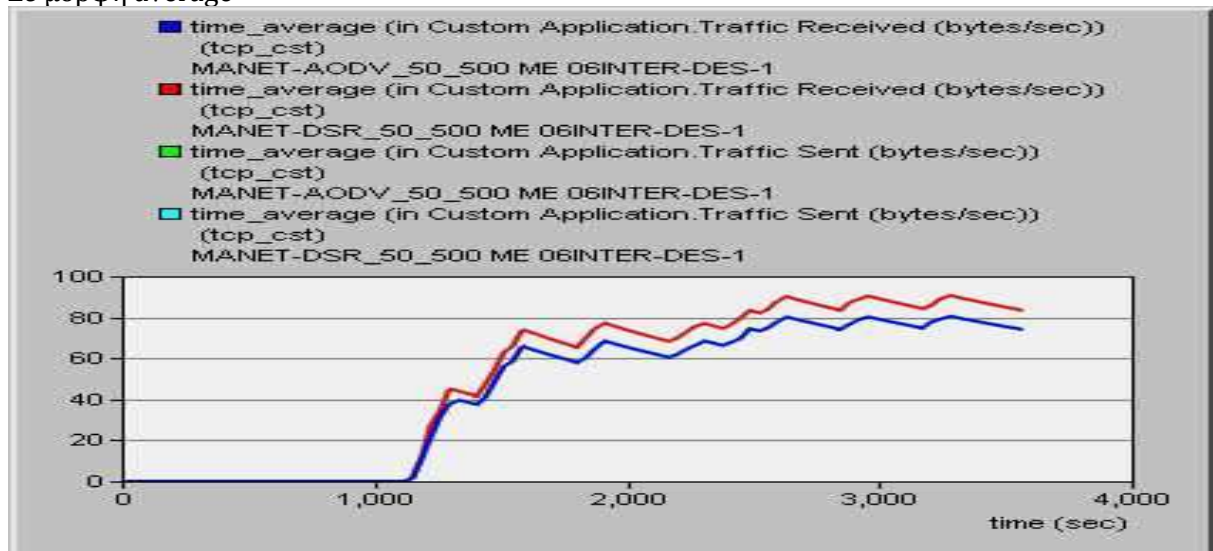
Σε μορφή average



Παρατηρούμε ότι για δύο διαφορετικούς όγκους κίνησης στο δίκτυο, το ποσοστό των απεσταλμένων πακέτων (Traffic Sent) και λαμβανόμενων πακέτων (Traffic Received) με το πρωτόκολλο δρομολόγησης DSR ήταν ίσο ή μεγαλύτερο από εκείνο του πρωτοκόλλου AODV.

Σε bytes/sec :

Σε μορφή average



Εδώ παρουσιάζεται η κίνηση (Traffic Sent & Received) σε μορφή bytes/sec, όπου βλέπουμε ότι κατά μέσο όρο λαμβάνονται 84 bytes/sec στην περίπτωση του DSR, ενώ στον AODV λιγότερα.

## 2<sup>ο</sup> μέρος

Σύγκριση AODV ΚΑΙ DSR, για κάθε περίπτωση συλλέγουμε :

1. Total Packet Dropped
2. Route Discover Time
3. Routing Traffic Sent
4. Routing Traffic Received
5. Number of hops per Route

### Σύγκριση AODV ΚΑΙ DSR

Σε κάθε προσομοίωση τροποποιούμε ως εξής τις παραμέτρους του Customer Task :

1)



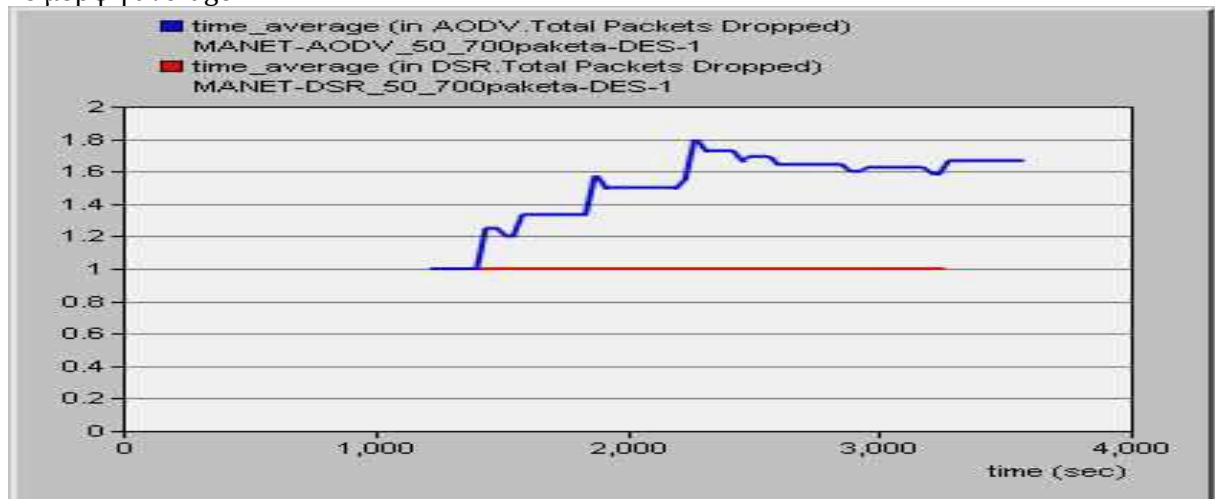
- ✓ Μέγεθος πακέτου : constant (700 bytes)
- ✓ Inter-arrival Time : constant (0.01 second)
- ✓ Packets per request : constant (150 )

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και συγκρίνουμε τα πρωτόκολλα δρομολόγησης AODV και DSR ως προς την επίδοσή τους.

#### 1 Customer Application

##### 1.1 Total packet dropped

Σε μορφή average

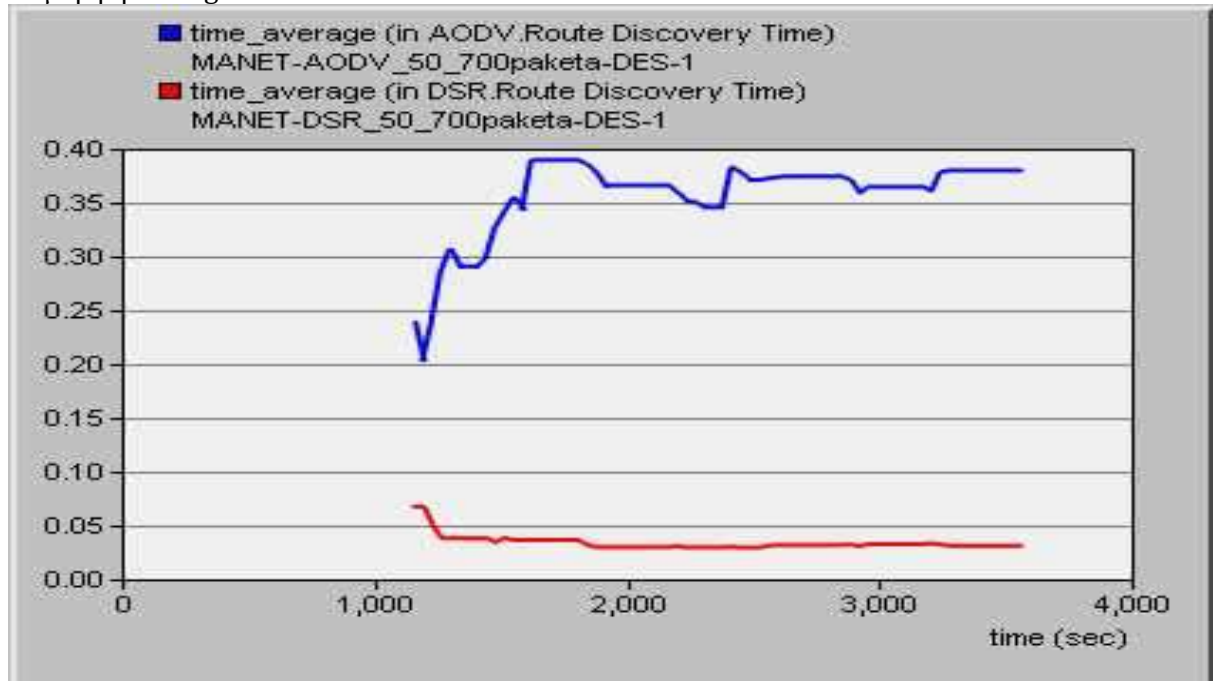


Στην παραπάνω γραφική παράσταση, όπου απεικονίζεται το προφίλ της απώλειας πακέτου, παρατηρούμε ότι έχουμε σταθερή απώλεια πακέτου της τάξης της μονάδας στην περίπτωση του DSR, ενώ στον AODV είναι μεταβλητή και κυμαίνεται γύρω στο 1.65 . Μπορούμε, λοιπόν, να πούμε ότι σε αυτό το γεγονός εντοπίζεται ο λόγος για τον οποίον έχουμε λιγότερα λαμβανόμενα πακέτα στην περίπτωση δρομολόγησης με το πρωτόκολλο AODV.

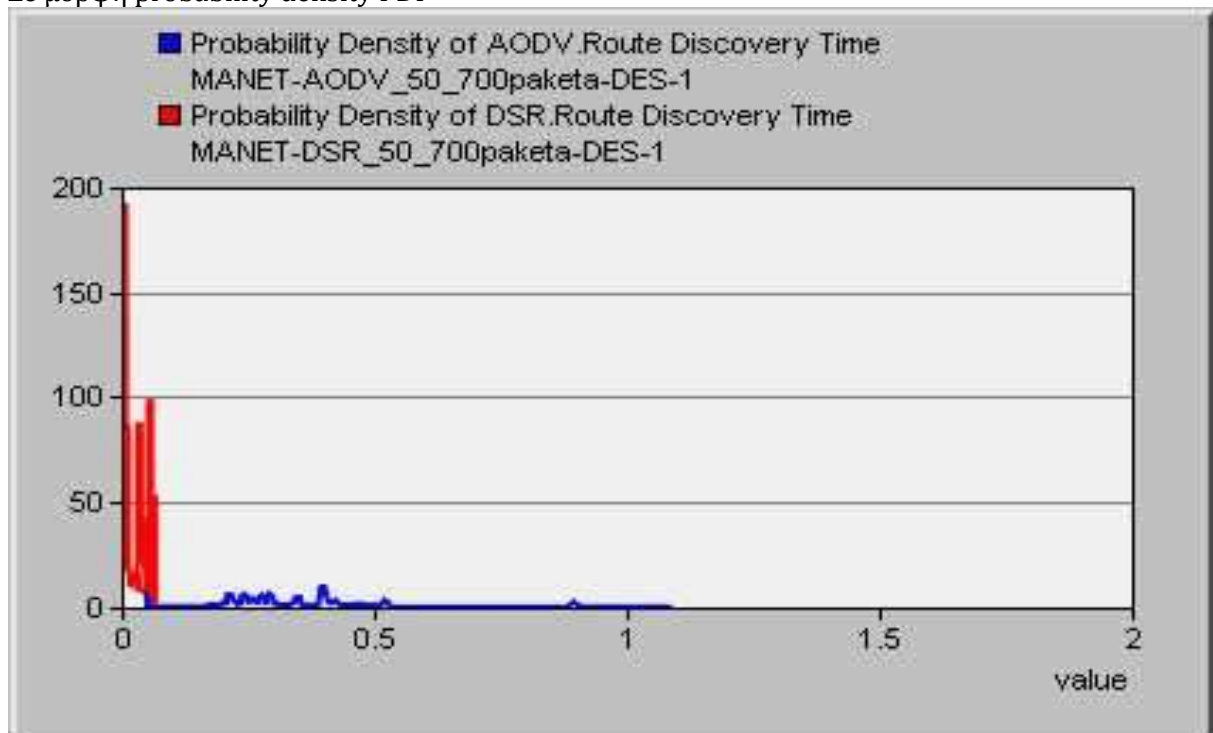


## 1.2 Route discovery time

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF

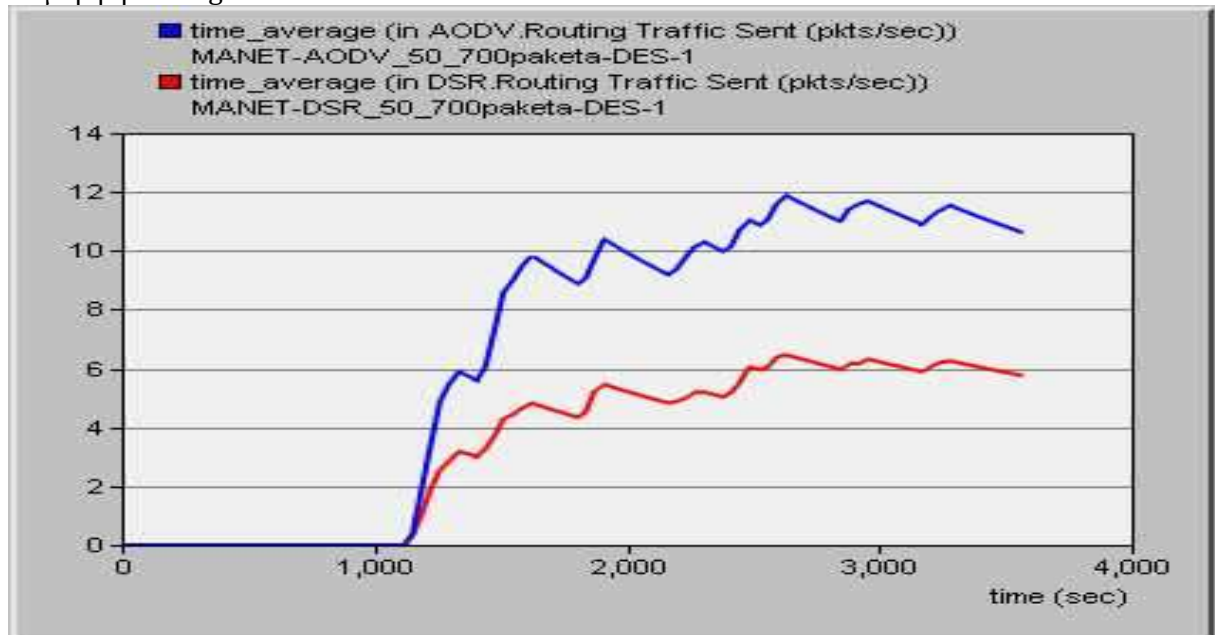


Παρατηρούμε ότι στο DSR ανακαλύπτονται πιο γρήγορα οι διαδρομές δρομολόγησης σε σύγκριση με το AODV.

### 1.3 Routing Traffic sent

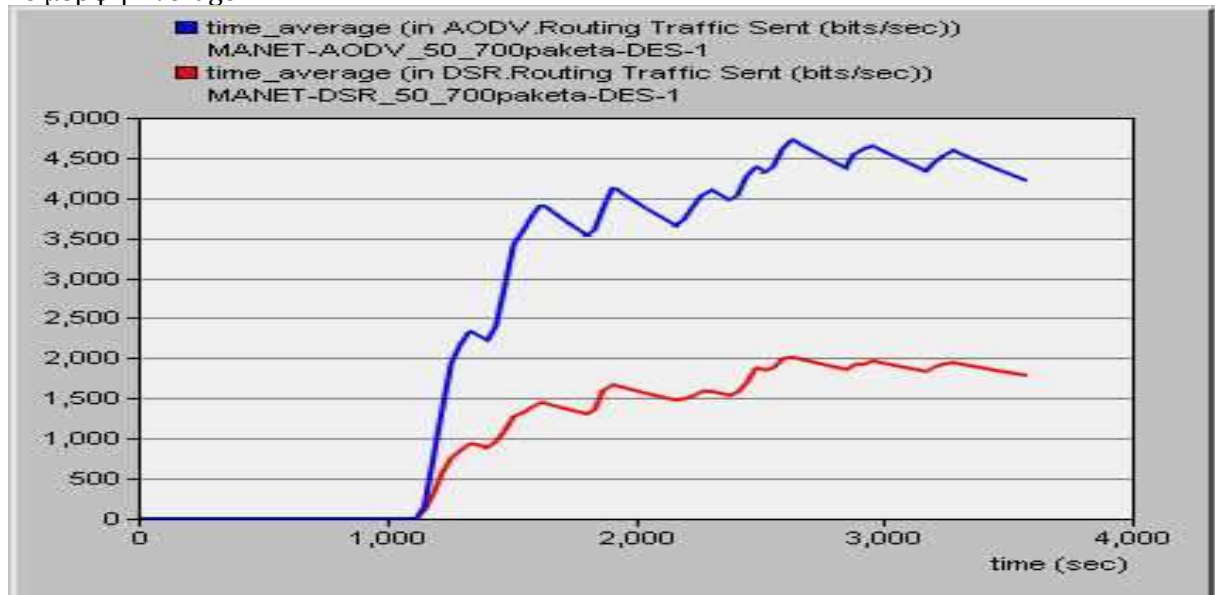
Σε packets/sec :

Σε μορφή Average



Σε bits/sec :

Σε μορφή Average

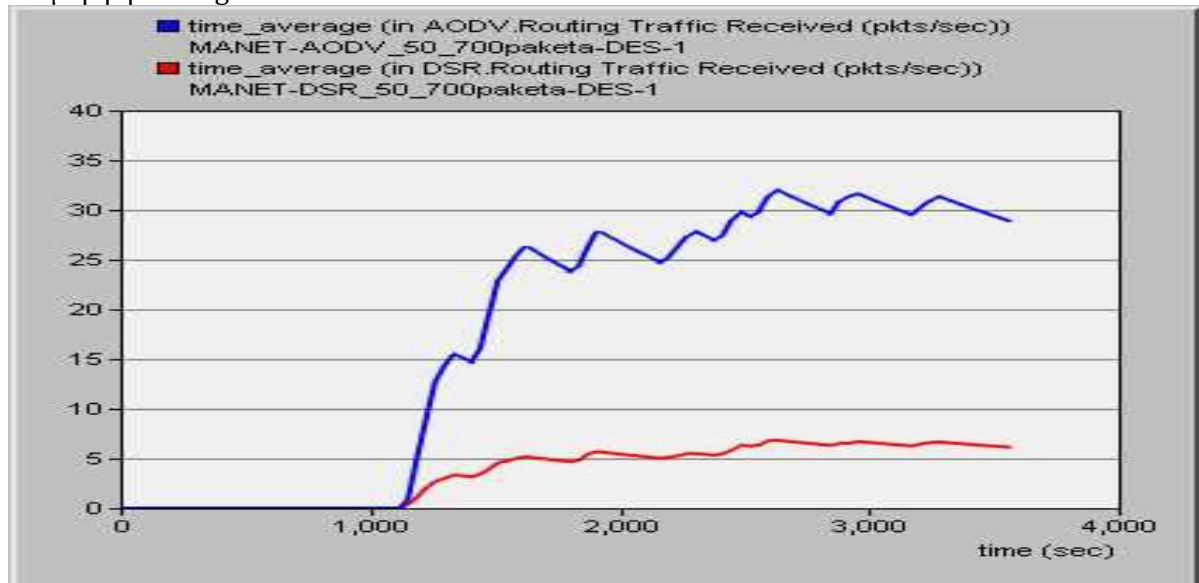


Το AODV δημιουργεί μεγαλύτερη κίνηση μέσα στο δίκτυο, κάτι το οποίο μπορεί να προκαλέσει συμφόρηση του δικτύου και να έχει ως αποτέλεσμα την μεγάλη απώλεια πακέτων κατά την δρομολόγηση. Αντίθετα, το DSR δημιουργεί ελάχιστη κίνηση σε σχέση με αυτή που παρατηρούμε στο AODV, με αποτέλεσμα να μην υπερφορτώνεται το δίκτυο, και επομένως να έχουμε μικρές απώλειες πακέτων κατά την δρομολόγηση.

#### 1.4 Routing Traffic Received

Σε packets/sec :

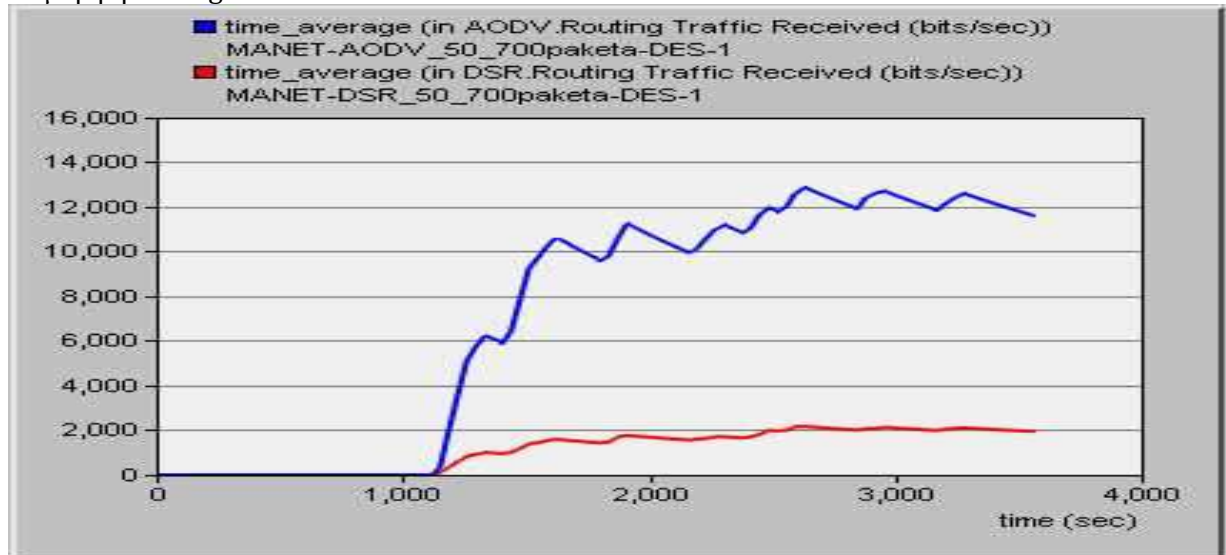
Σε μορφή Average



Στην περίπτωση του DSR παρατηρούμε στο πάνω σχήμα ότι η κίνηση που στέλνεται (Traffic Send) ταυτίζεται με την κίνηση που λαμβάνεται (Traffic Received), ενώ στον AODV λόγω της μεγαλύτερης κίνησης που δημιουργεί και επισημαίνοντας ότι ένας παραλήπτης μπορεί να λαμβάνει πακέτα από περισσότερους από έναν αποστολείς (πολλαπλές λήψεις), έχουμε μεγαλύτερο αριθμό λαμβανόμενων πακέτων .

Σε bits/sec :

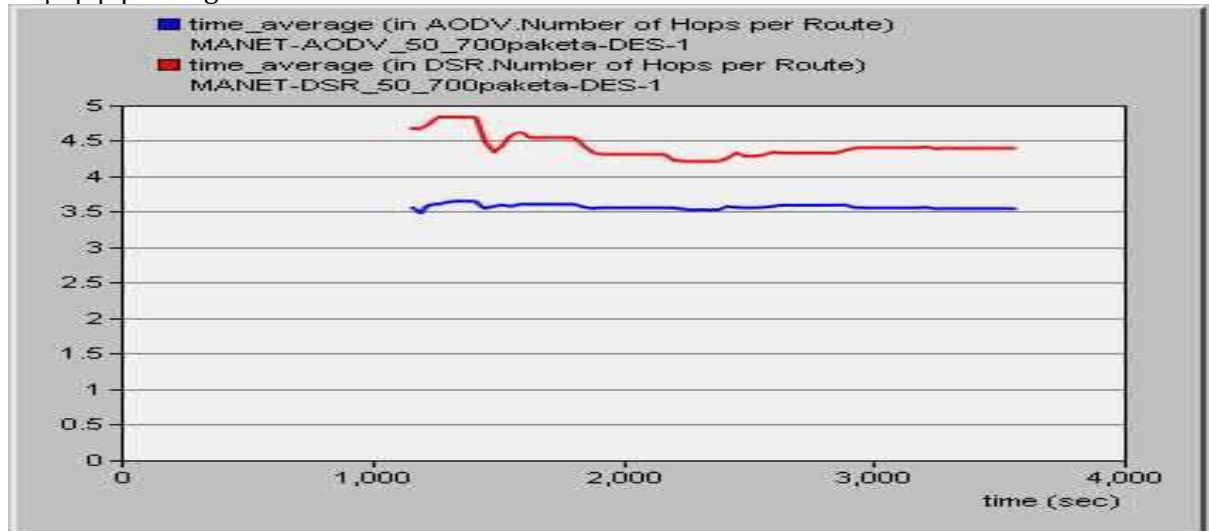
Σε μορφή Average



Βλέπουμε πάλι τα ίδια αποτελέσματα σε μορφή bits/sec, όπου στο AODV παρατηρούμε μια αύξηση των λαμβανόμενων bits σε σχέση με τα bits που δημιουργήθηκαν προς αποστολή.

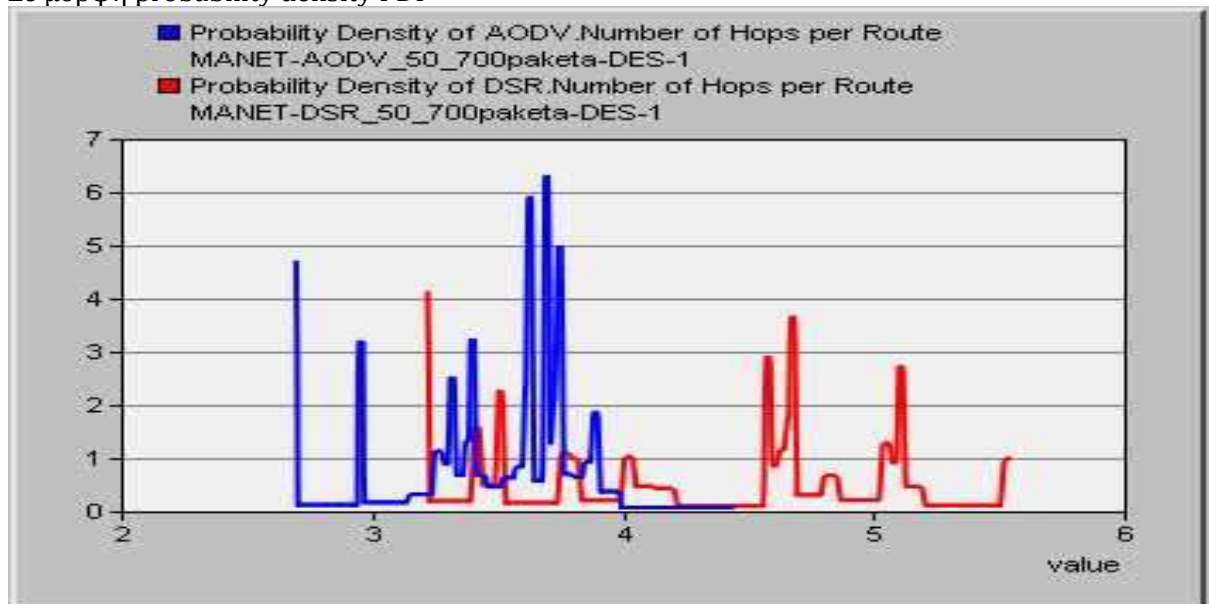
### 1.5 Number of hops per route

Σε μορφή average



Εδώ παρατηρούμε τον μικρότερο αριθμό των κόμβων από τους οποίους περνάνε τα πακέτα με το AODV για να φτάσουν στον προορισμό τους, ενώ στην περίπτωση του DSR αυτός είναι μεγαλύτερος.

Σε μορφή probability density PDF



Από το γράφημα της κατανομής πιθανοτήτων, μπορούμε να επιβεβαιώσουμε ότι στην περίπτωση του AODV έχουμε μια συγκεντρωμένη συνάρτηση πιθανότητας γύρω από ένα μικρό εύρος τιμών, ενώ για το DSR έχουμε μια πιο απλωμένη συνάρτηση με μεγαλύτερο εύρος τιμών.

2)

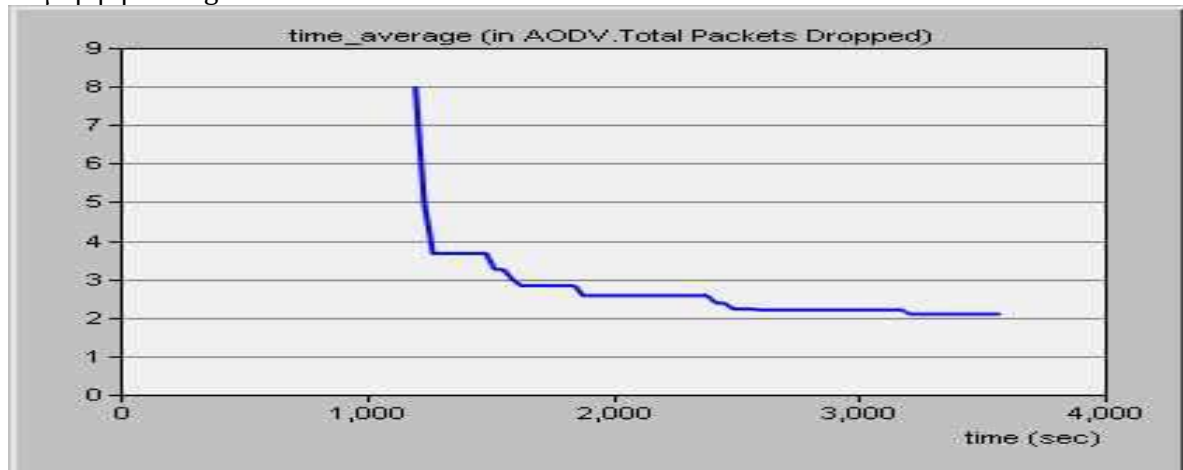


- ✓ Μέγεθος πακέτου : constant (700 bytes)
- ✓ Inter-arrival Time : constant (0.3 second)
- ✓ Packets per request : constant (150 )

## 2 Customer Application

### 2.1 Total packet dropped

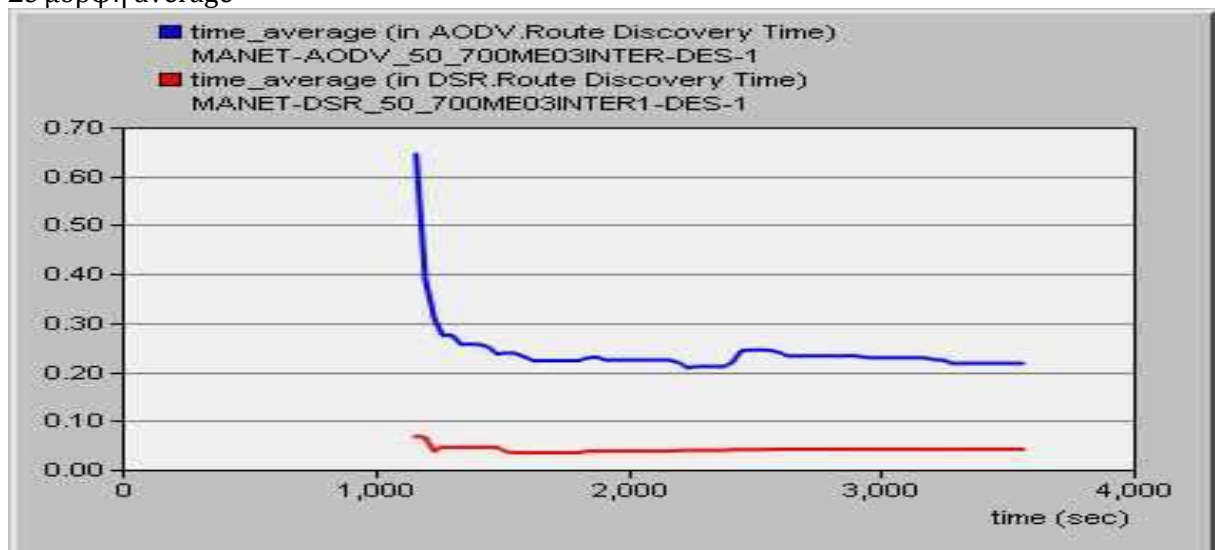
Σε μορφή average



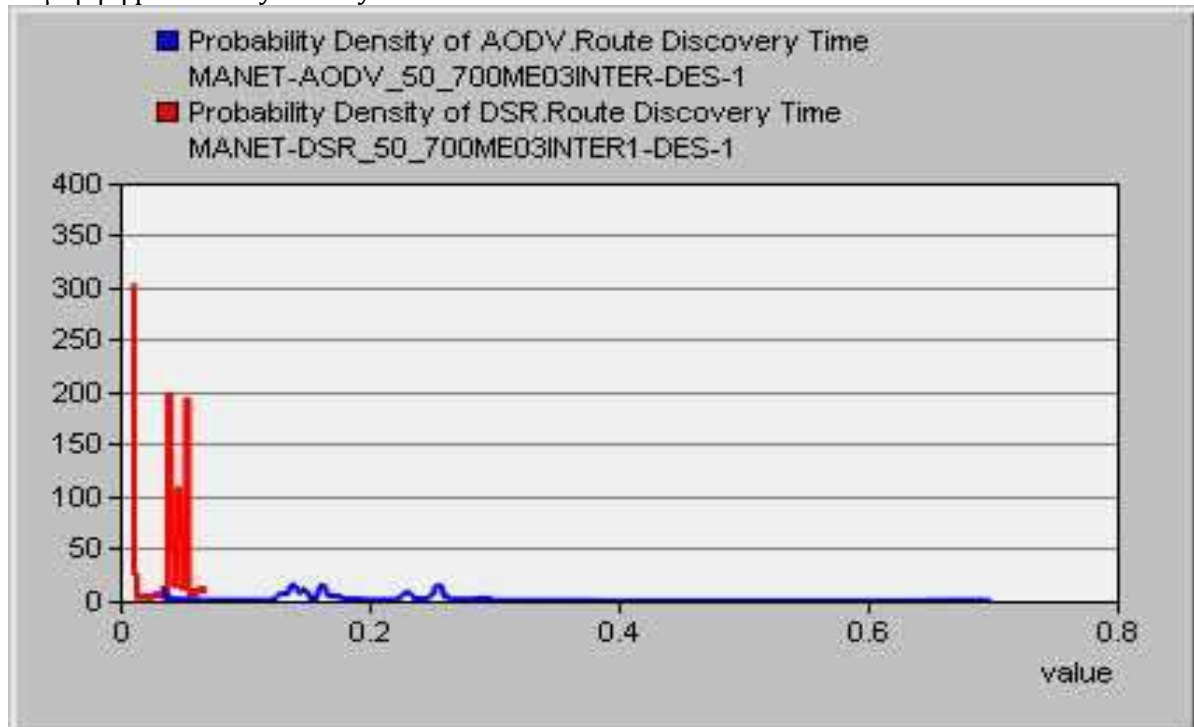
Στο πάνω σχήμα, όπου απεικονίζεται το προφίλ της απώλειας πακέτου, παρατηρούμε ότι δεν έχουμε απώλεια στην περίπτωση του DSR. Γι' αυτό το λόγο δεν εμφανίζεται τίποτα σχετικά με το DSR στην γραφική.

### 2.2 Route discovery time

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF

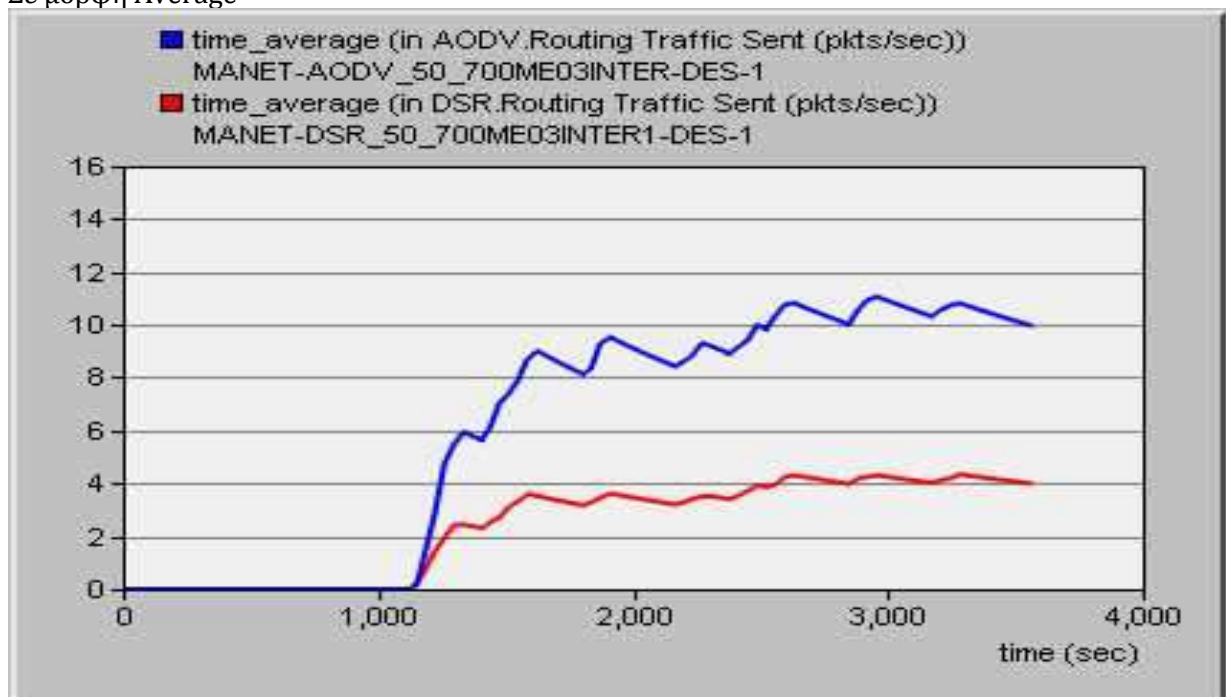


Παρατηρούμε ότι στο πρωτόκολλο DSR η ανακάλυψη των διαδρομών δρομολόγησης είναι πιο γρήγορη σε σύγκριση με το AODV.

### 2.3 Routing Traffic sent

Σε packets/sec :

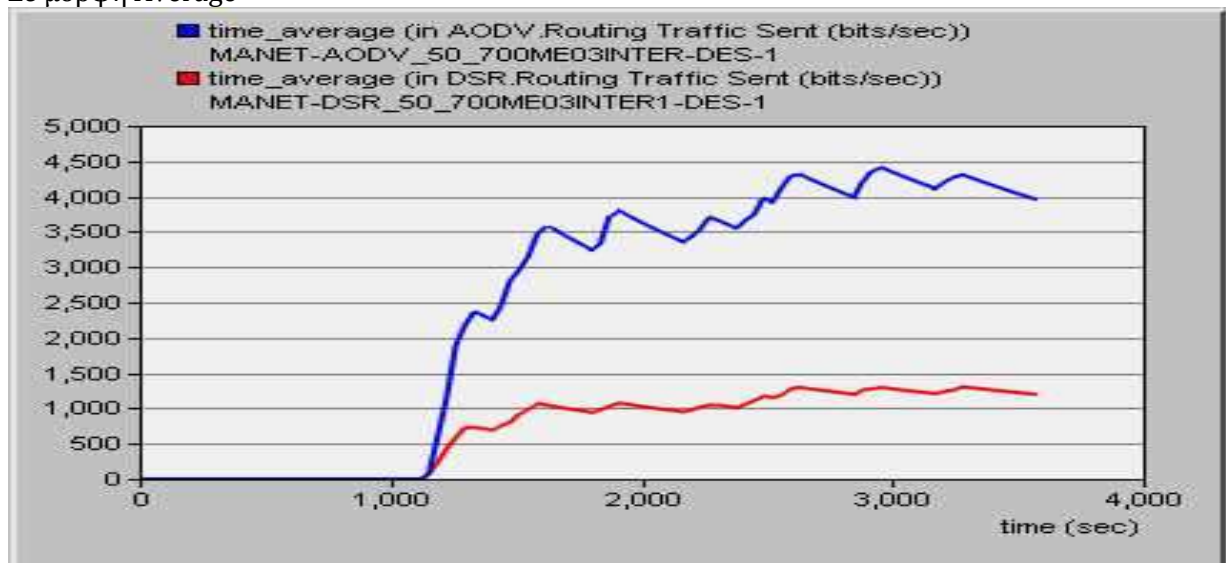
Σε μορφή Average





Σε bits/sec :

Σε μορφή Average

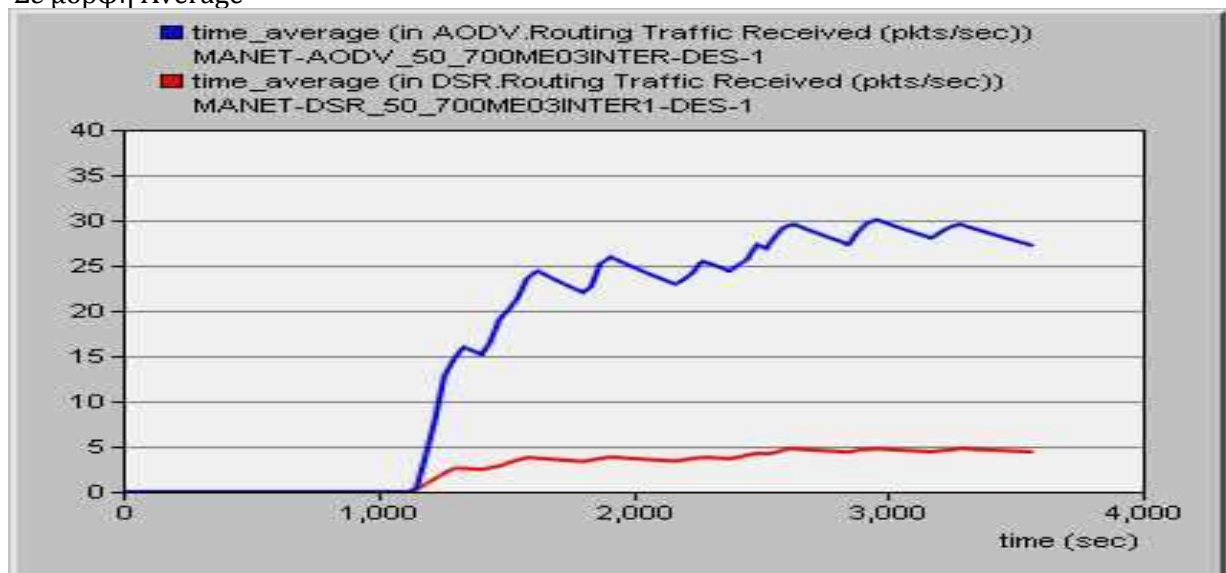


Με το AODV δημιουργείται μεγαλύτερη κίνηση μέσα στο δίκτυο, κάτι το οποίο μπορεί να προκαλέσει συμφόρηση του δικτύου και να έχει σαν αποτέλεσμα την μεγάλη απώλεια πακέτων στην δρομολόγηση.

#### 2.4 Routing Traffic Received

Σε packets/sec :

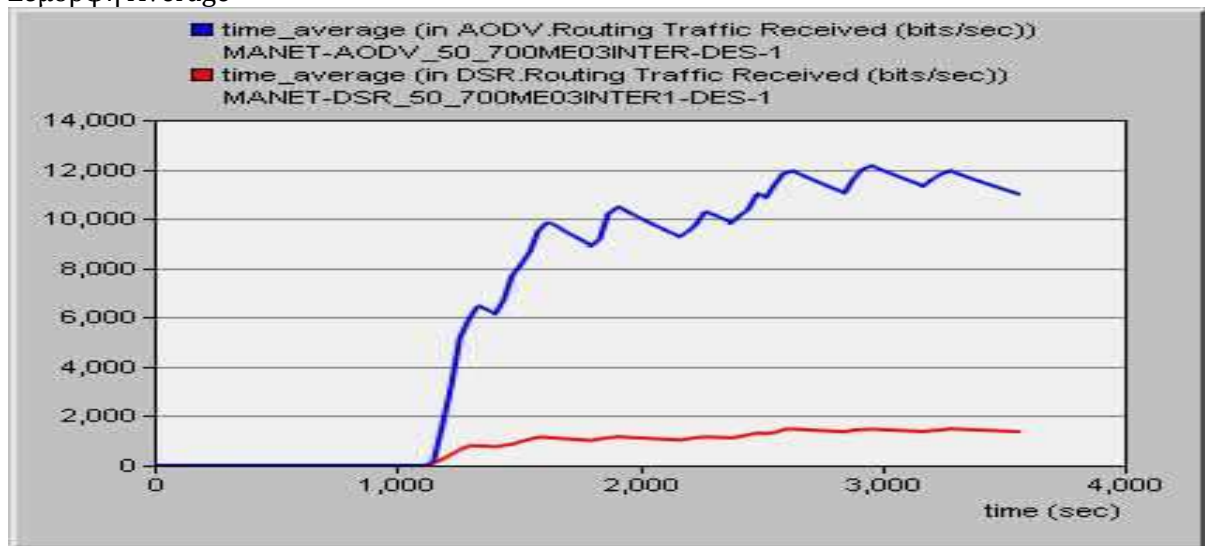
Σε μορφή Average



Στην περίπτωση του DSR βλέπουμε ότι η κίνηση που στέλνεται (Traffic Send) ταυτίζεται με την κίνηση που λαμβάνεται (Traffic Received), ενώ στο AODV λόγω της μεγαλύτερης κίνησης που δημιουργεί και επισημαίνοντας ότι ένας παραλήπτης μπορεί να λαμβάνει πακέτα από περισσότερους από έναν αποστολείς (πολλαπλές λήψεις), έχουμε μεγαλύτερο αριθμό λαμβανόμενων πακέτων .

Σε bits/sec :

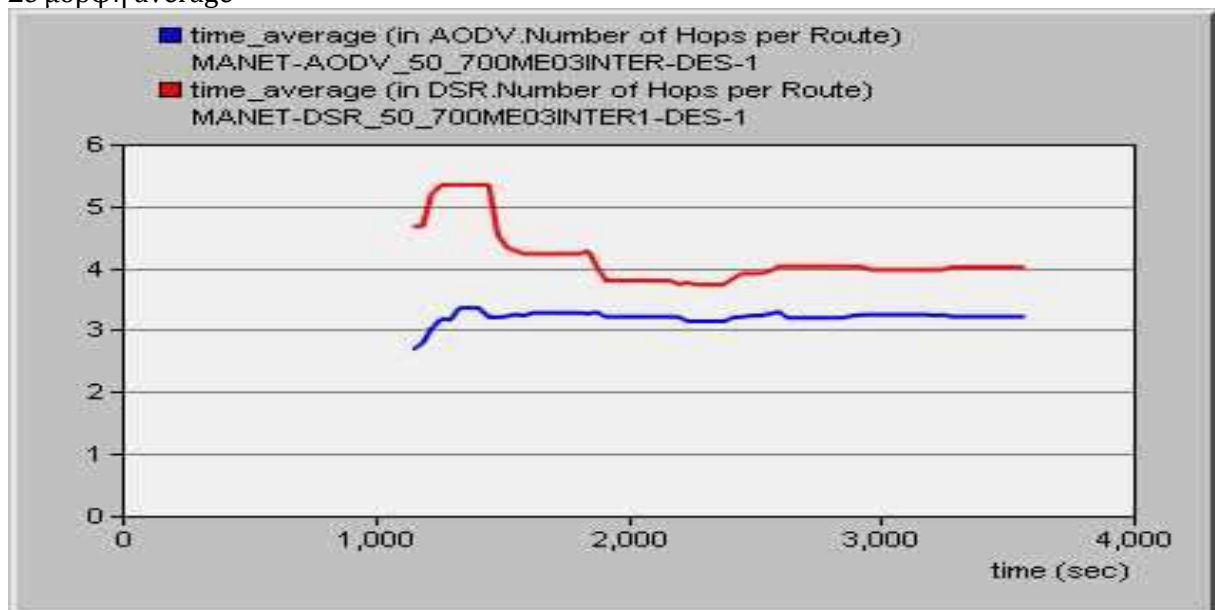
Σε μορφή Average



Βλέπουμε πάλι τα ίδια αποτελέσματα σε μορφή bits/sec, όπου στον AODV παρατηρούμε μια αύξηση των λαμβανόμενων bits σε σχέση με τα bits που δημιουργήθηκαν προς αποστολή.

## 2.5 Number of hops per route

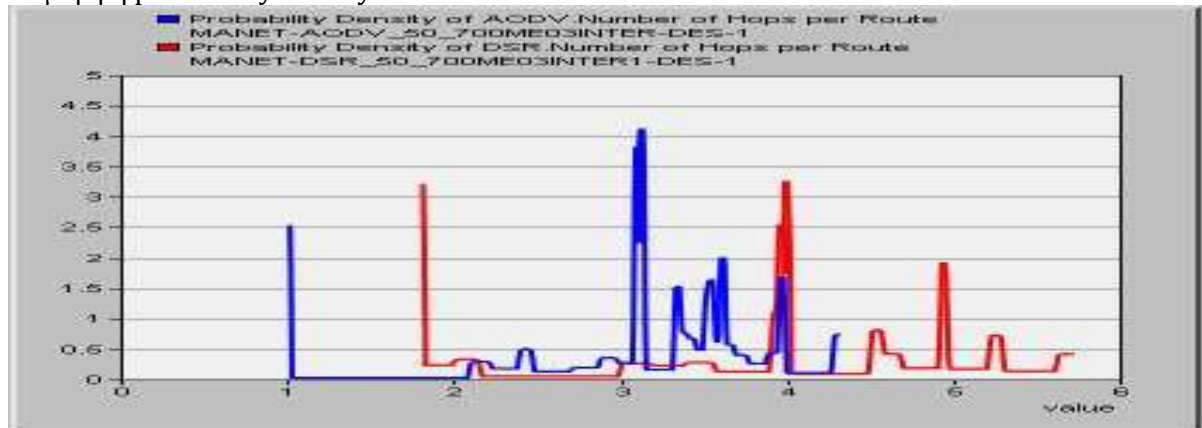
Σε μορφή average



Παραπάνω είδαμε ότι με το DSR, η ανακάλυψη των διαδρομών γινόταν πιο γρήγορα σε σχέση με το AODV, ενώ στην παραπάνω γραφική παρατηρούμε ότι η δρομολόγηση με το AODV κάνει μικρότερα βήματα (hops) για να φτάσει το πακέτο στον παραλήπτη. Επομένως, το γεγονός ότι έχουμε μικρή λαμβανόμενη κίνηση (Traffic Received) με τον πρωτόκολλο AODV δεν οφείλεται σίγουρα στον αριθμό των βημάτων (hops) που κάνει το πακέτο κατά την δρομολόγηση του.



Σε μορφή probability density PDF



Από το γράφημα της κατανομής πιθανοτήτων μπορούμε να επιβεβαιώσουμε ότι στην περίπτωση του AODV έχουμε μια συγκεντρωμένη συνάρτηση πιθανότητας, ενώ για το DSR έχουμε μια πιο απλωμένη συνάρτηση με μεγαλύτερο εύρος τιμών.

3)

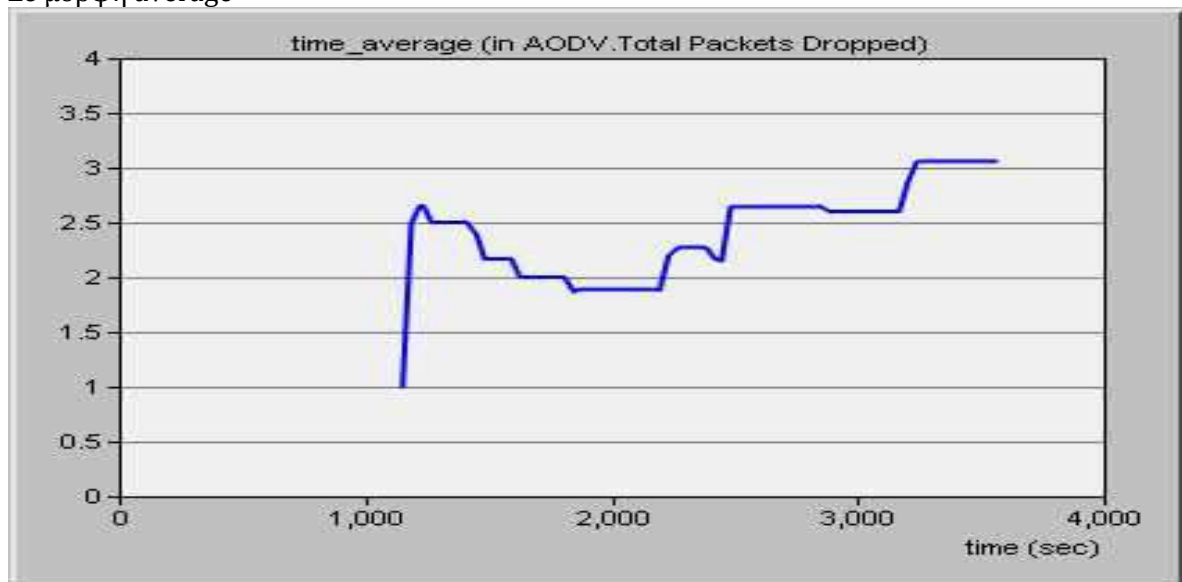


- ✓ Μέγεθος πακέτου : constant (700 bytes)
- ✓ Inter-arrival Time : constant (0.6 second)
- ✓ Packets per request : constant (150 )

### 3 Customer Application

#### 3.1 Total packet dropped

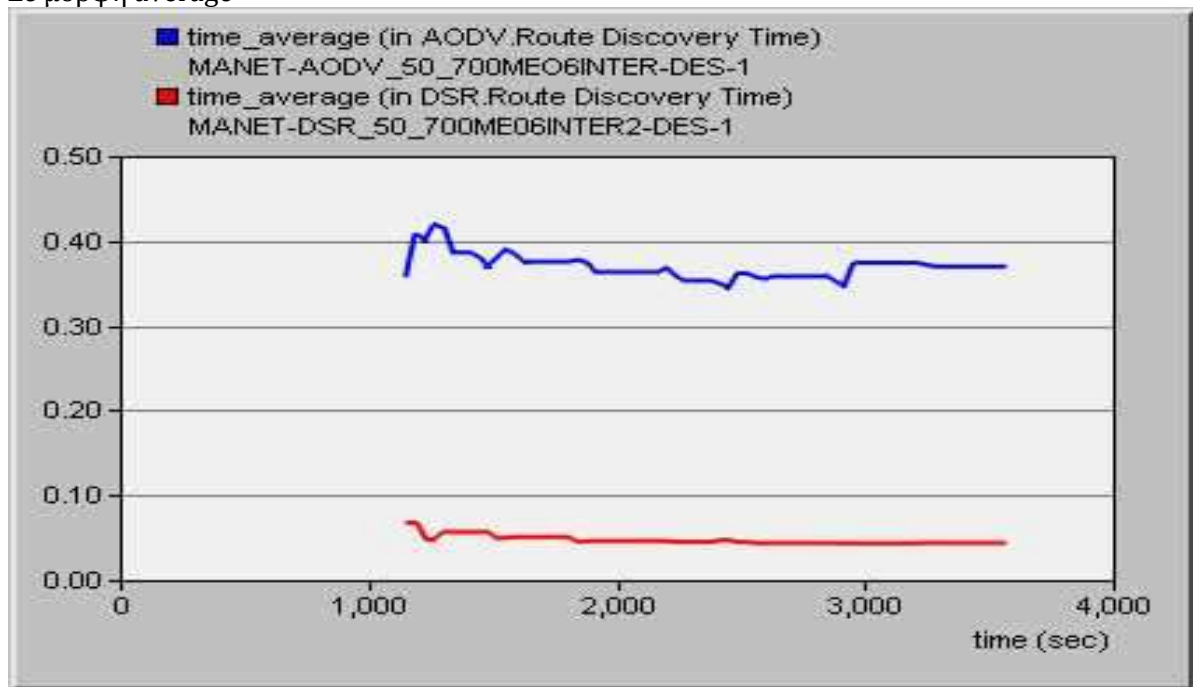
Σε μορφή average



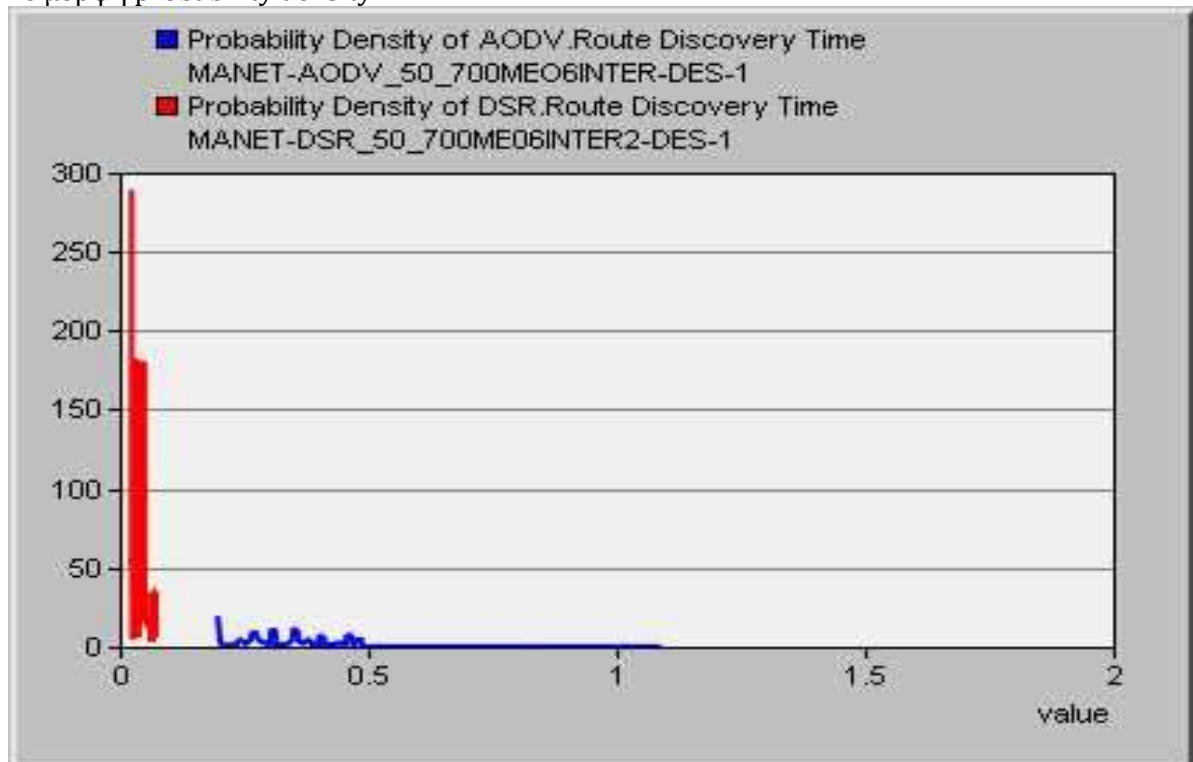
Όπως φαίνεται στο σχήμα, δεν εμφανίζεται απώλεια πακέτων στο DSR για μεγάλη τιμή του Interarrival Time, ενώ στο AODV παρατηρούμε ότι χάθηκαν πολλά πακέτα (κατά μέσο όρο χάνονται περίπου 3.1 packets/sec).

### 3.2 Route discovery time

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF

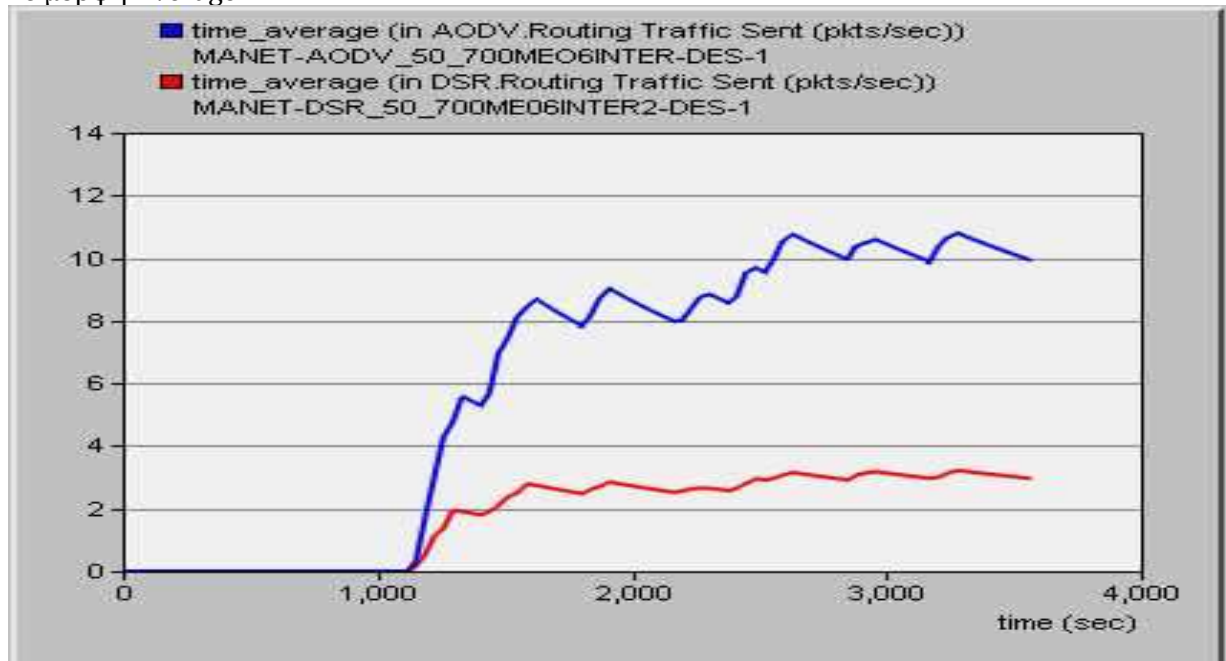


Επειδή είδαμε παραπάνω ότι η καθυστέρηση κατά την δρομολόγηση των πακέτων μέσα στο δίκτυο στην περίπτωση του πρωτοκόλλου DSR ήταν μικρότερη και σταθερή, μπορούμε να πούμε ότι το γεγονός αυτό οφείλεται στην ταχύτερη ανακάλυψη της διαδρομής (μικρό Route Discovery Time) του πρωτοκόλλου DSR (οι γραφικές παραστάσεις φαίνονται στα παραπάνω σχήματα).

### 3.3 Routing Traffic sent

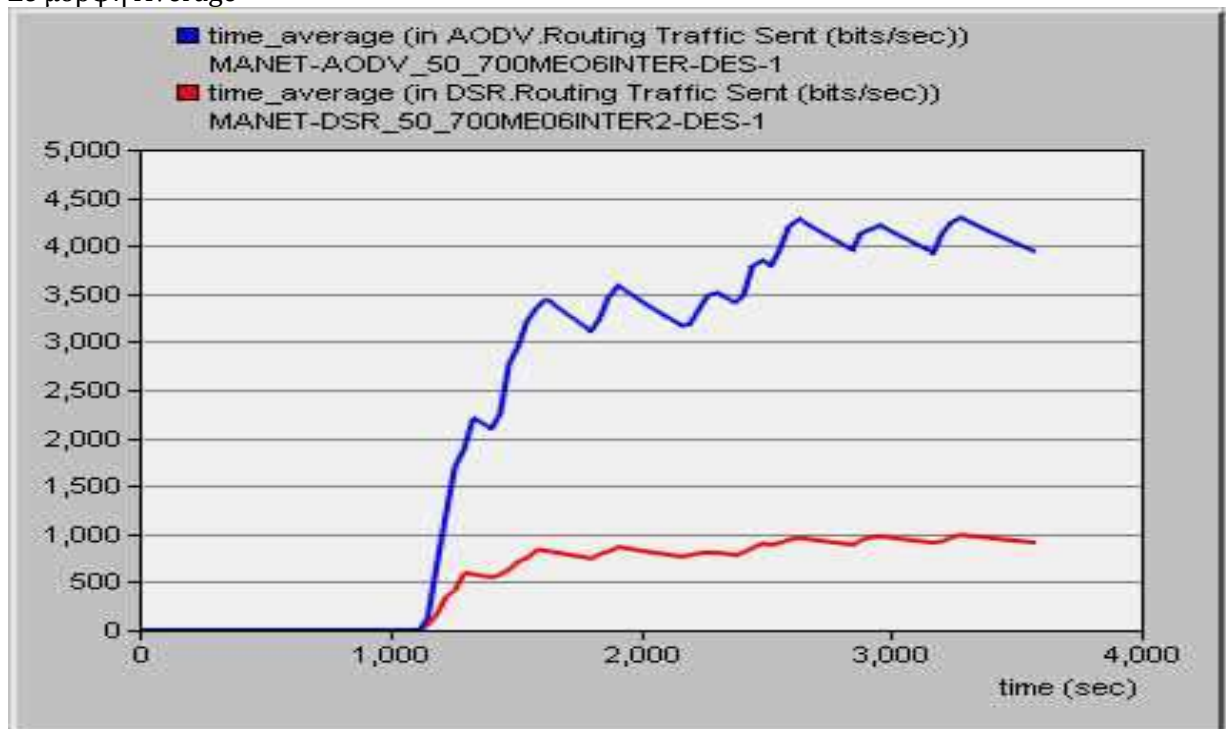
Σε packets/sec :

Σε μορφή Average



Σε bits/sec :

Σε μορφή Average

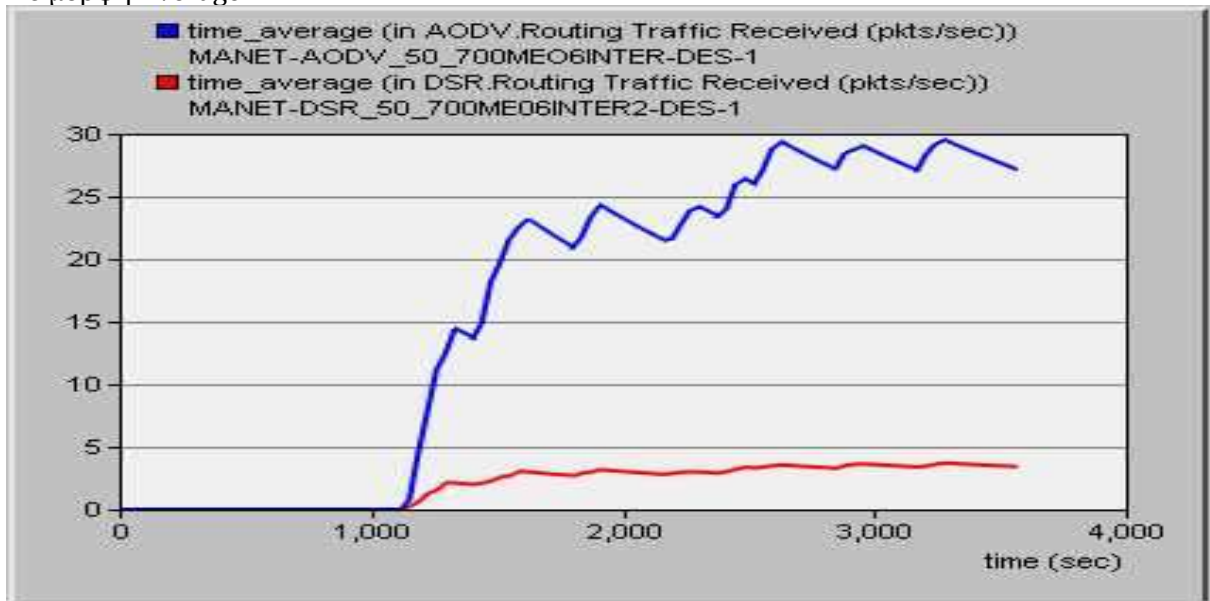


Με το AODV δημιουργείται μεγαλύτερη κίνηση μέσα στο δίκτυο σε σχέση με το πρωτόκολλο DSR.

### 3.4 Routing Traffic Received

Σε packets/sec :

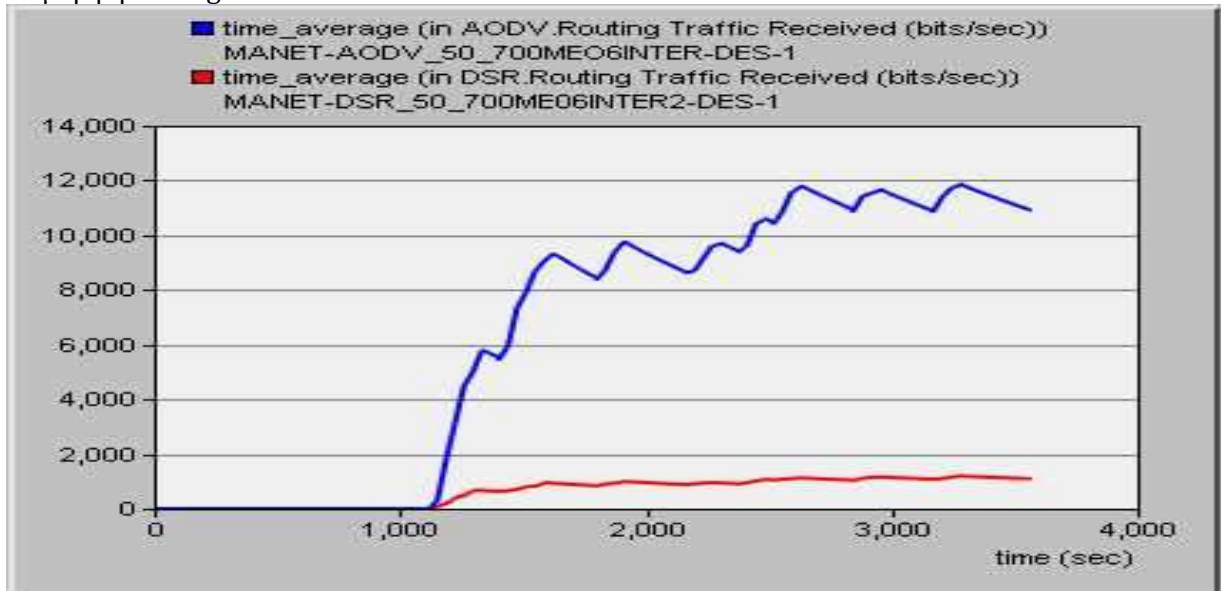
Σε μορφή Average



Στην περίπτωση του DSR παρατηρούμε ότι η κίνηση που στέλνεται (Traffic Send) ταυτίζεται με την κίνηση που λαμβάνεται (Traffic Received), ενώ στο AODV αυτό δεν ισχύει.

Σε bits/sec :

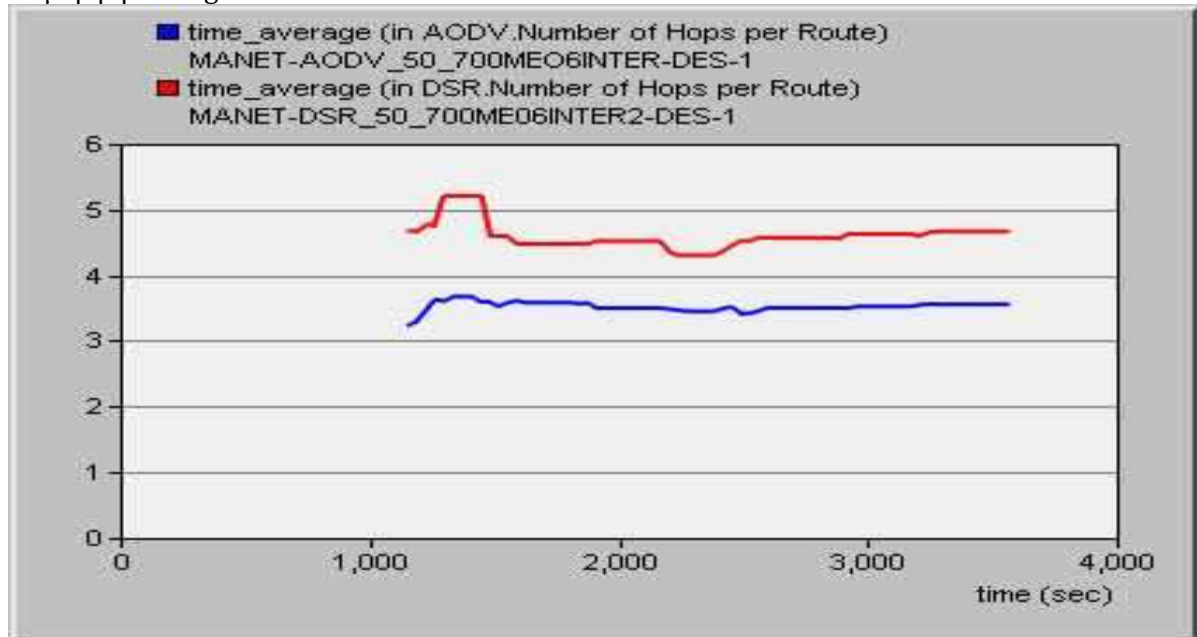
Σε μορφή Average



Βλέπουμε πάλι τα ίδια αποτελέσματα σε μορφή bits/sec, όπου στο AODV παρατηρούμε μια αύξηση των λαμβανόμενων bits σε σχέση με τα bits που δημιουργήθηκαν προς αποστολή.

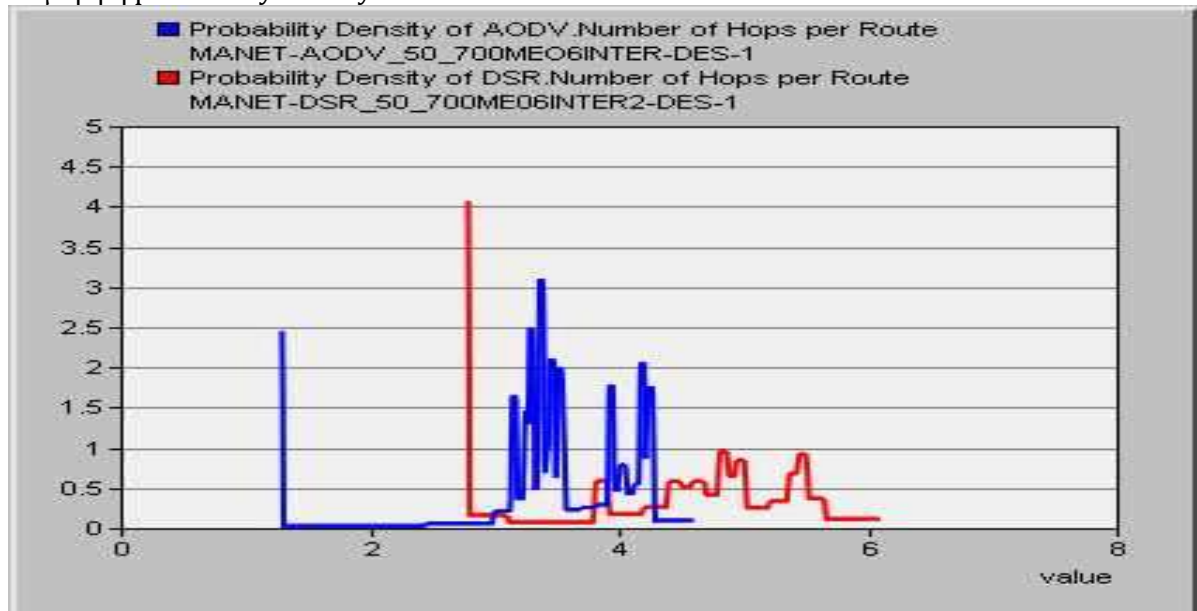
### 3.5 Number of hops per route

Σε μορφή average



Στο παραπάνω σχήμα, το γράφημα δείχνει τον αριθμό των βημάτων (Number of hops per Route) που κάνει ένα πακέτο για να φτάσει στον προορισμό του. Παρατηρούμε ότι με το AODV, ο αριθμός αυτός είναι μικρότερος σε σχέση με την περίπτωση όπου χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο DSR.

Σε μορφή probability density PDF



Από το παραπάνω γράφημα της συνάρτησης κατανομής πιθανοτήτων, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι στην περίπτωση του AODV έχουμε μια συγκεντρωμένη συνάρτηση πιθανότητας γύρω από ένα μικρό εύρος τιμών, ενώ για το DSR έχουμε μια απλωμένη συνάρτηση με μεγαλύτερο εύρος τιμών.

4)

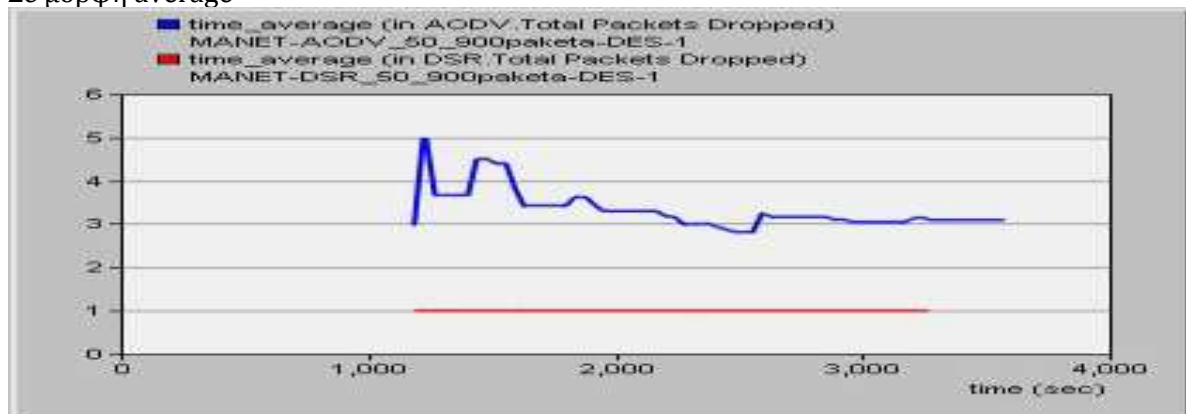


- ✓ **Μέγεθος πακέτου : constant (900 bytes)**
- ✓ **Inter-arrival Time : constant (0.01 second)**
- ✓ **Packets per request : constant (150 )**

## 4 Customer Application

### 4.1 Total packet dropped

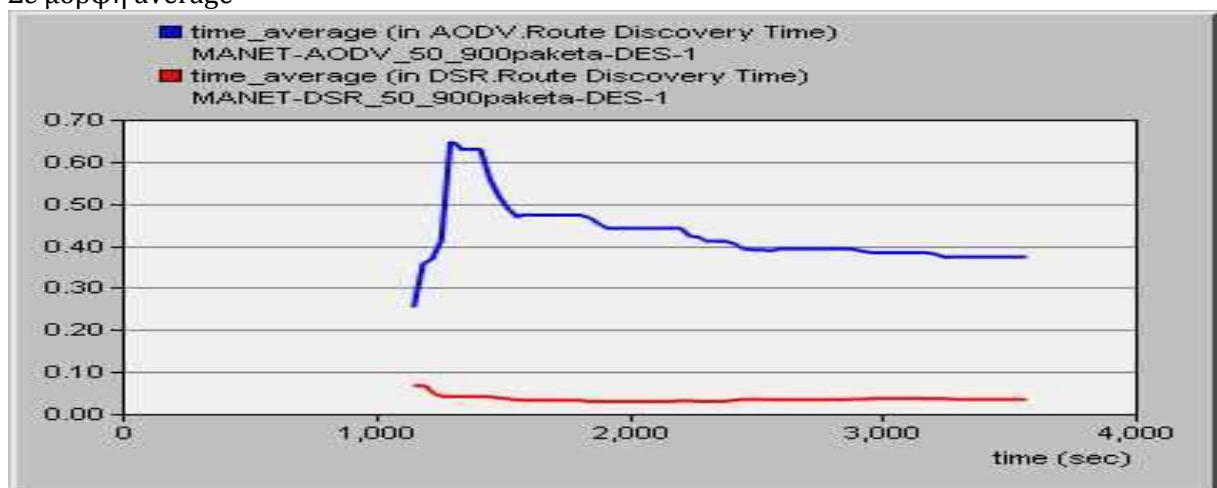
Σε μορφή average



Στην παραπάνω γραφική παράσταση, όπου απεικονίζεται το προφίλ της απώλειας πακέτων, παρατηρούμε μια σταθερή απώλεια πακέτων της τάξης της μονάδας στην περίπτωση του DSR, ενώ στο AODV, είναι μεταβλητή με μέσο όρο που κυμαίνεται γύρω στα 3.1 packets/sec .

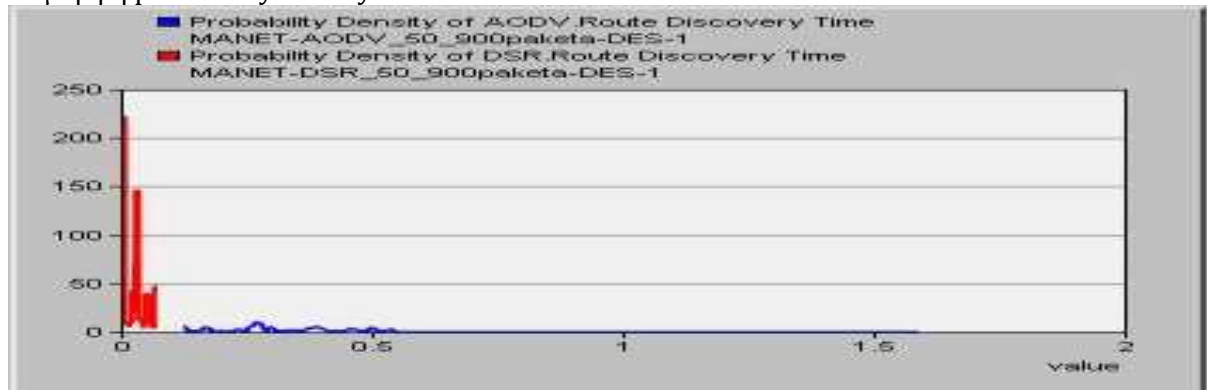
### 2.2 Route discovery time

Σε μορφή average





Σε μορφή probability density PDF

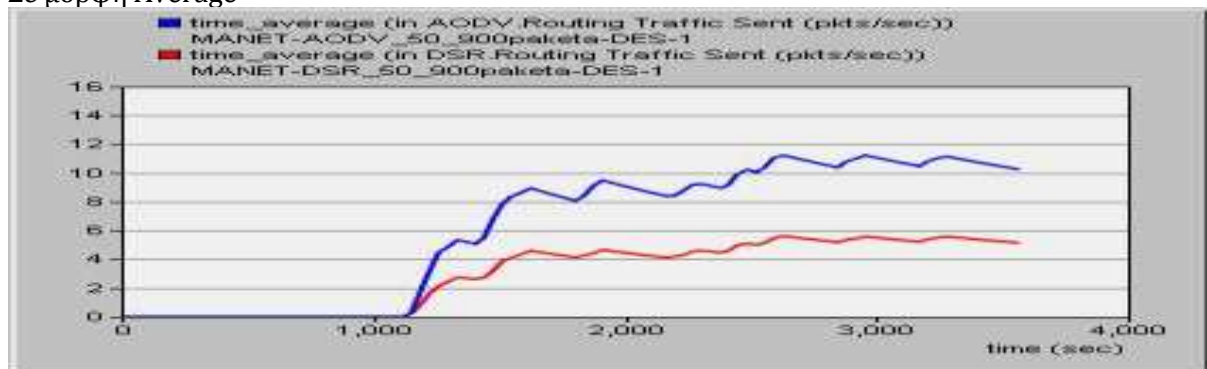


Παρατηρούμε ότι με το DSR η ανακάλυψη της διαδρομής δρομολόγησης γινόταν πιο γρήγορα(μικρό Route Discovery Time) σε σύγκριση με το AODV.

#### 4.3 Routing Traffic sent

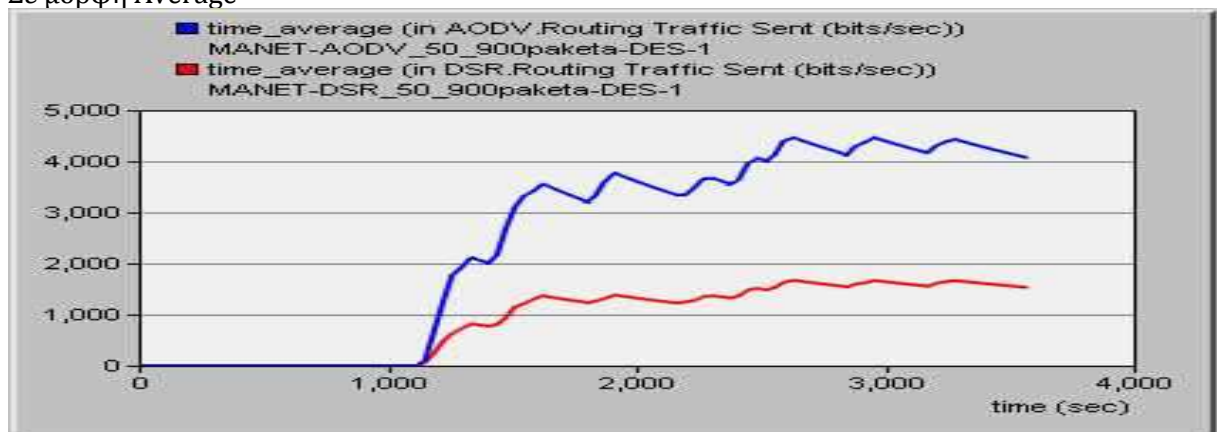
Σε packets/sec :

Σε μορφή Average



Σε bits/sec :

Σε μορφή Average

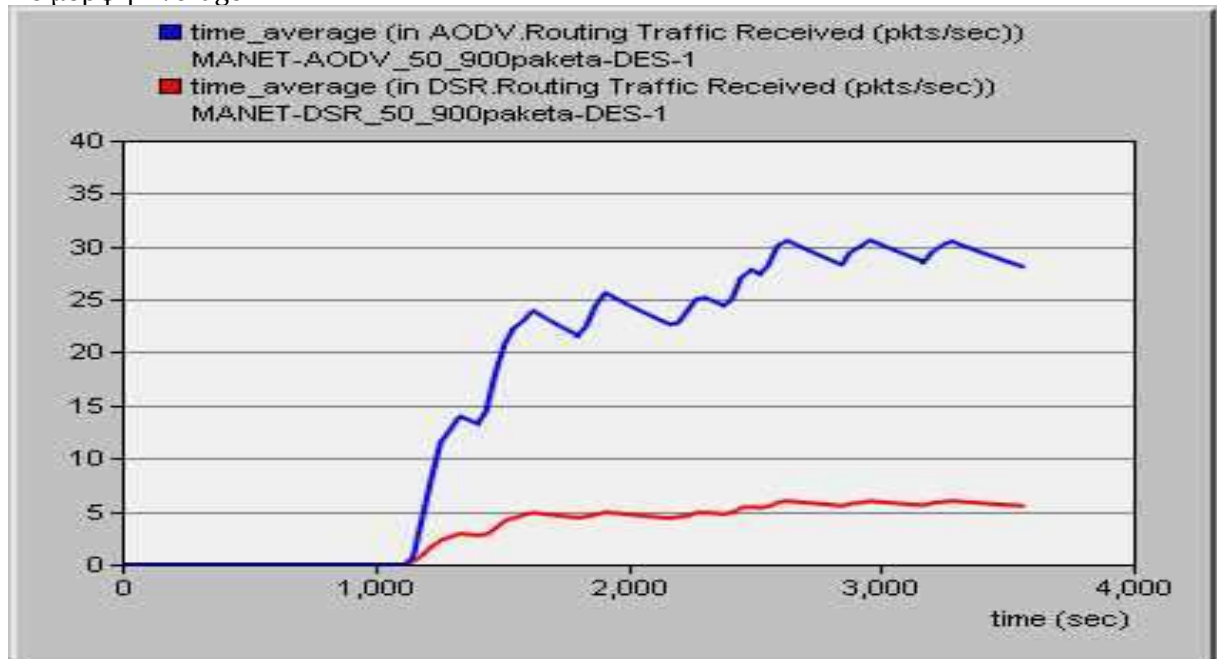


Με το AODV δημιουργείται μεγαλύτερη κίνηση μέσα στο δίκτυο, κάτι το οποίο μπορεί να προκαλέσει συμφόρηση στο δίκτυο και να έχει ως αποτέλεσμα την μεγάλη απώλεια πακέτων.

#### 4.4 Routing Traffic Received

Σε packets/sec :

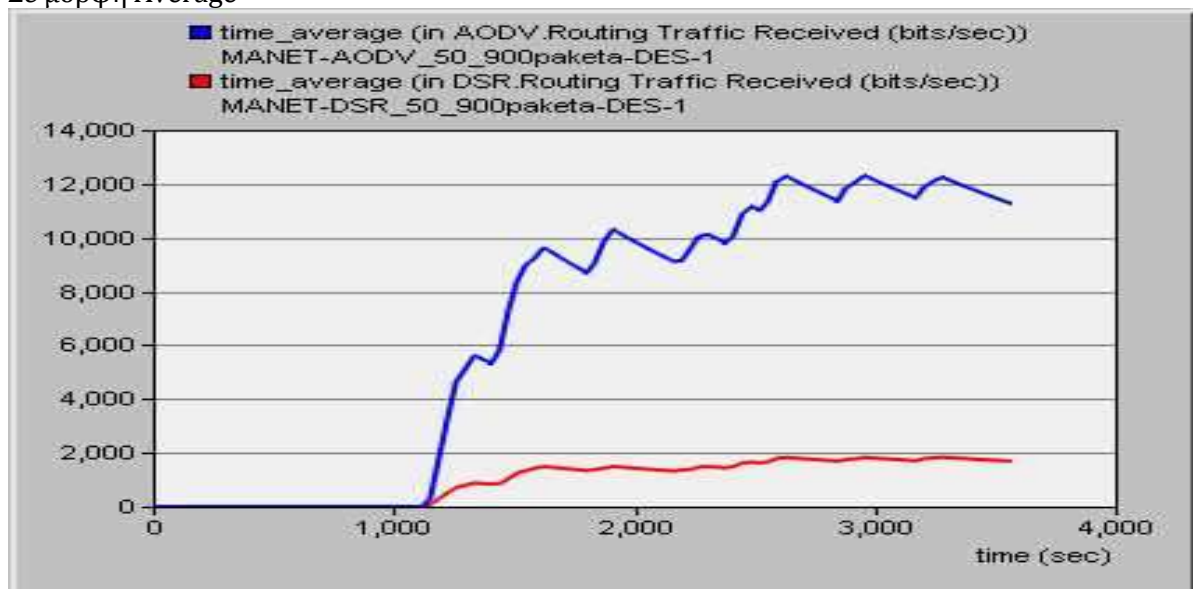
Σε μορφή Average



Στην περίπτωση του DSR παρατηρούμε ότι η κίνηση που στέλνεται (Traffic Send) ταυτίζεται με την κίνηση που λαμβάνεται (Traffic Received), ενώ στο AODV αυτό δεν ισχύει.

Σε bits/sec :

Σε μορφή Average

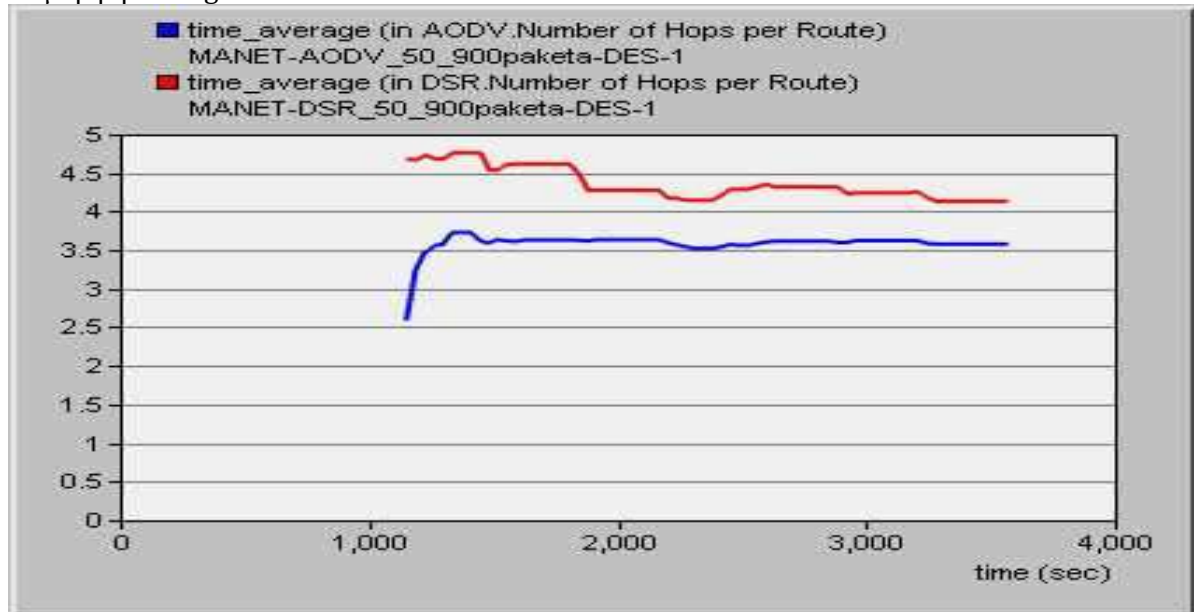


Βλέπουμε πάλι τα ίδια αποτελέσματα σε μορφή bits/sec, όπου στον AODV παρατηρούμε μια αύξηση των λαμβανόμενων bits σε σχέση με τα bits που δημιουργήθηκαν προς αποστολή.



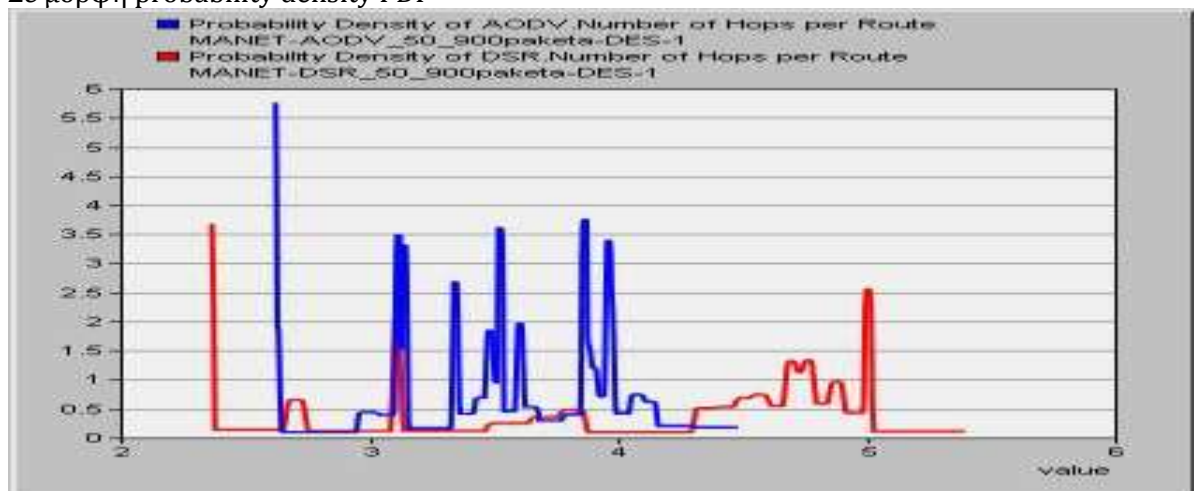
#### 4.5 Number of hops per route

Σε μορφή average



Παραπάνω είδαμε ότι με το DSR η ανακάλυψη της διαδρομής δρομολόγησης γινόταν πιο γρήγορα σε σχέση με το AODV, όμως στο πάνω σχήμα παρατηρούμε ότι το Number of hops per Route (ο αριθμός των βημάτων από τον αποστολέα μέχρι τον παραλήπτη) στην περίπτωση του AODV είναι πολύ μικρότερο σχετικά με την περίπτωση όπου χρησιμοποιήθηκε το DSR.

Σε μορφή probability density PDF



Από το παραπάνω γράφημα της συνάρτησης κατανομής πιθανοτήτων παρατηρούμε ότι με το DSR εμφανίζεται μια απλωμένη συνάρτηση κατανομής πιθανοτήτων με μεγαλύτερο εύρος τιμών, ενώ είναι πιο πυκνή γύρω από ένα μικρότερο εύρος στην περίπτωση του AODV.

5)

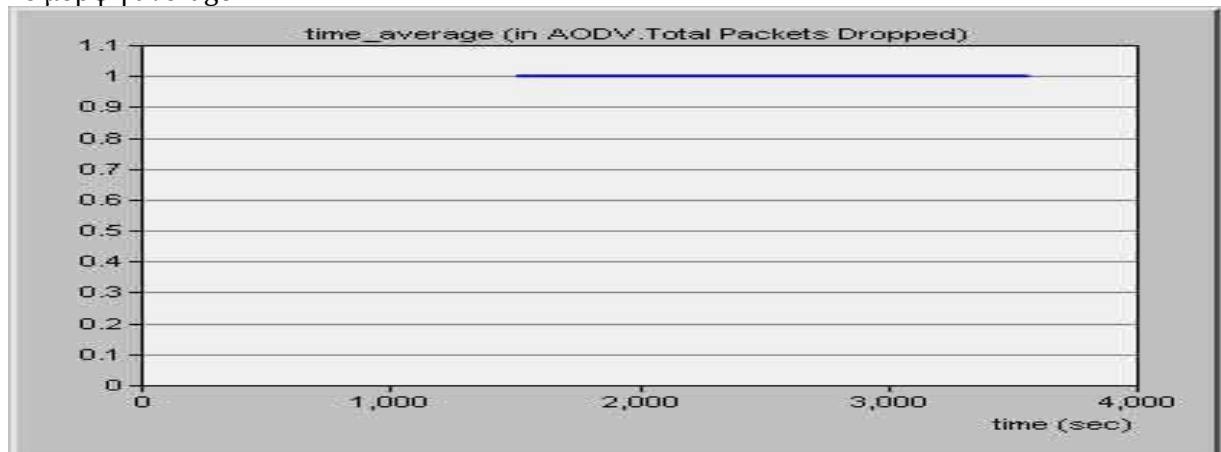


- ✓ **Μέγεθος πακέτου : constant (500 bytes)**
- ✓ **Inter-arrival Time : constant (0.6 second)**
- ✓ **Packets per request : constant (150 )**

## 5 Customer Application

### 5.1 Total packet dropped

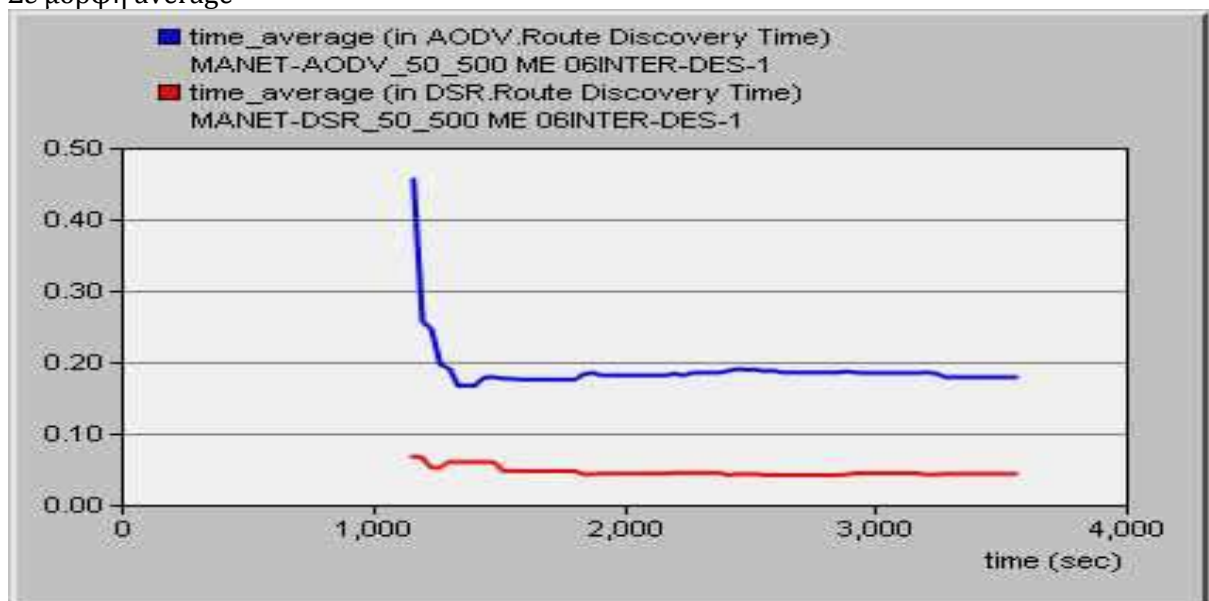
Σε μορφή average



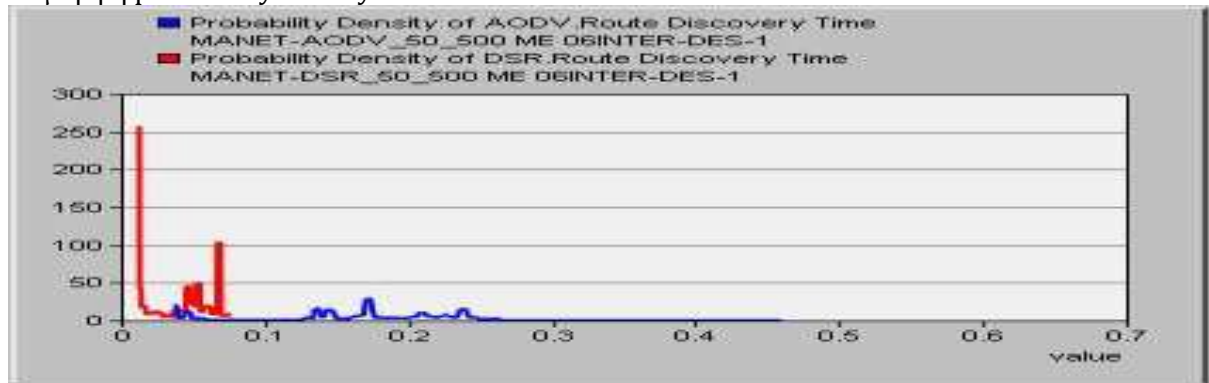
Στην παραπάνω γραφική παράσταση παρατηρούμε ότι έχουμε σταθερή απώλεια πακέτων της τάξης της μονάδας στην περίπτωση του AODV, ενώ με το DSR δεν έχουμε απώλεια πακέτων.

### 5.2 Route discovery time

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF

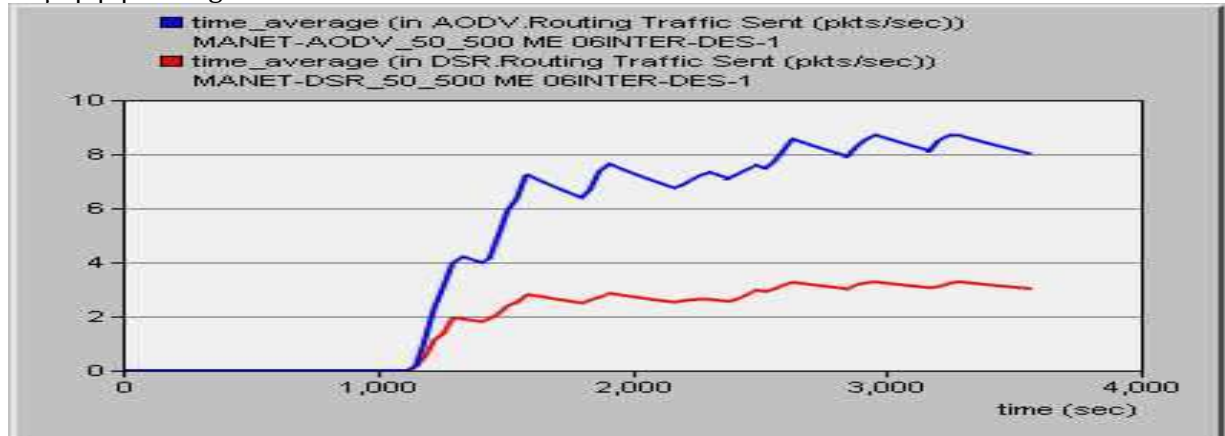


Με το DSR παρατηρούμε γρηγορότερη διαδικασία ανακάλυψης των διαδρομών δρομολόγησης (Route Discovery Time) σε σύγκριση με το AODV.

### 5.3 Routing Traffic sent

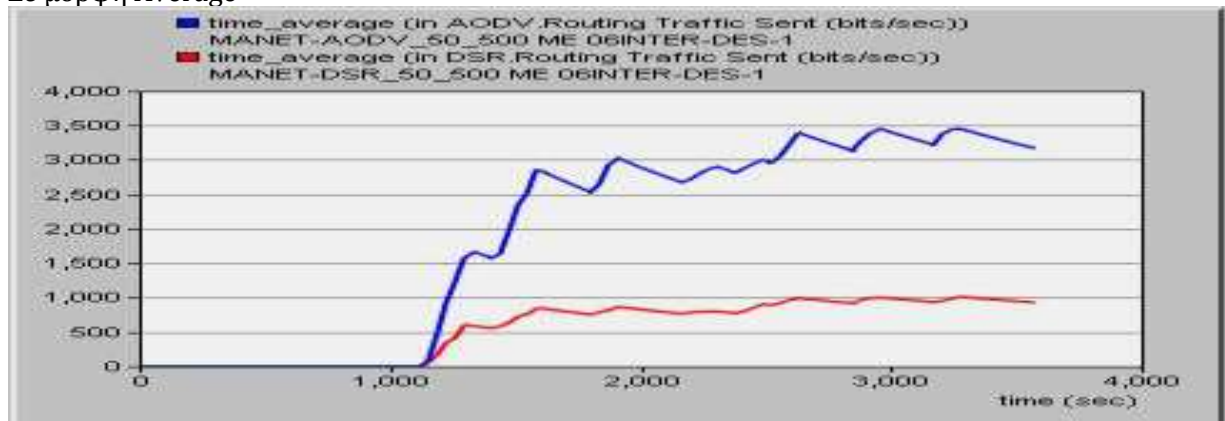
Σε packets/sec :

Σε μορφή Average



Σε bits/sec :

Σε μορφή Average

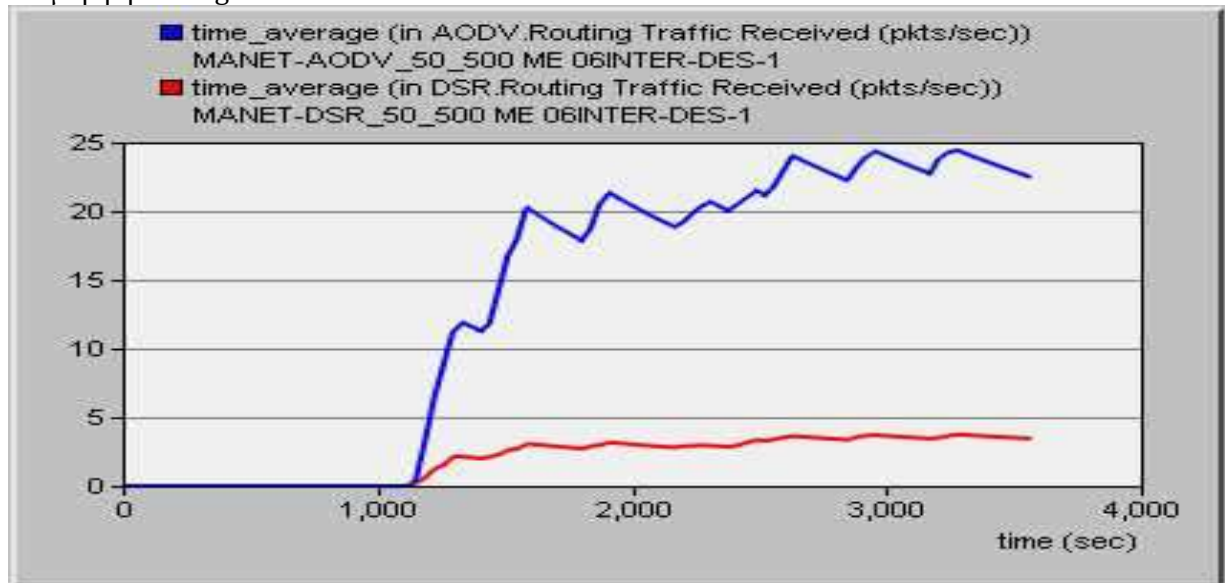


Με το AODV δημιουργείται μεγαλύτερη κίνηση μέσα στο δίκτυο, κάτι το οποίο μπορεί να προκαλέσει συμφόρηση στο δίκτυο και να έχει ως αποτέλεσμα την μεγάλη απώλεια πακέτων. Αντίθετα, με το DSR δημιουργείται μικρότερη κίνηση με αποτέλεσμα να μην υπερφορτώνεται το δίκτυο, και επομένως να έχουμε μικρή απώλεια πακέτων.

#### 5.4 Routing Traffic Received

Σε packets/sec :

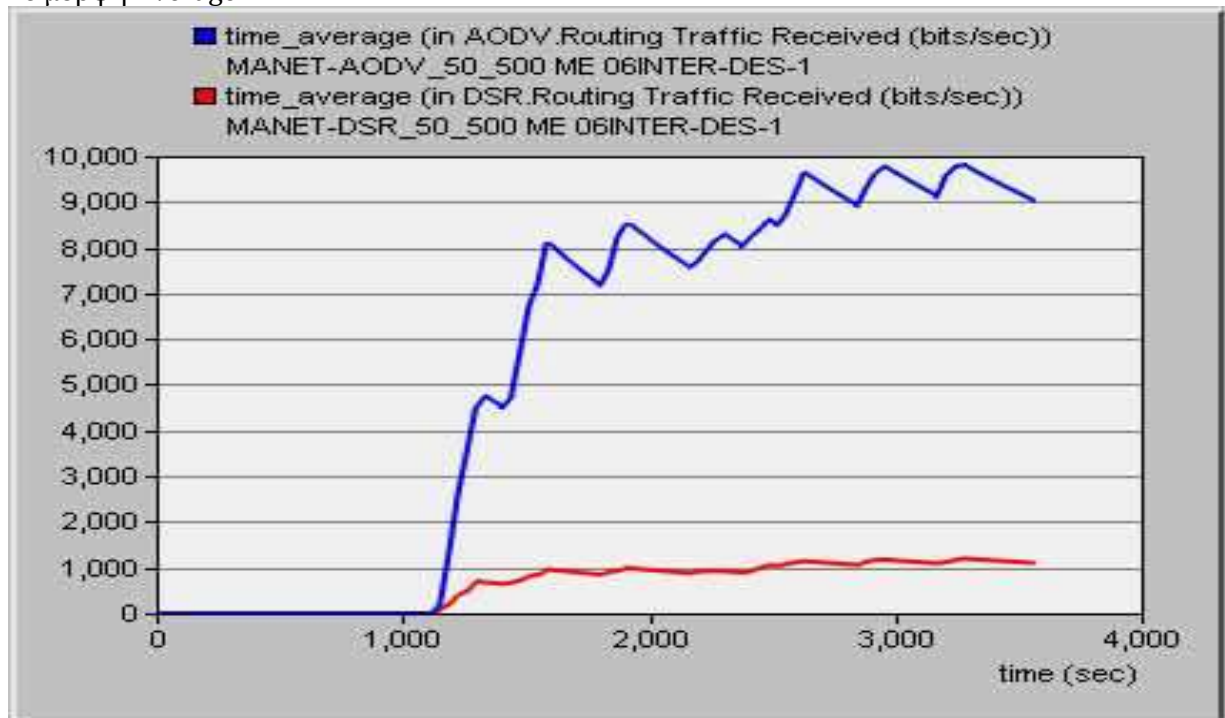
Σε μορφή Average



Στην περίπτωση του DSR παρατηρούμε ότι η κίνηση που στέλνεται (Traffic Send) ταυτίζεται με την κίνηση που λαμβάνεται (Traffic Received), ενώ στο AODV, λόγω της μεγαλύτερης κίνησης που δημιουργείται, έχουμε μεγαλύτερο αριθμό λαμβανόμενων πακέτων.

Σε bits/sec :

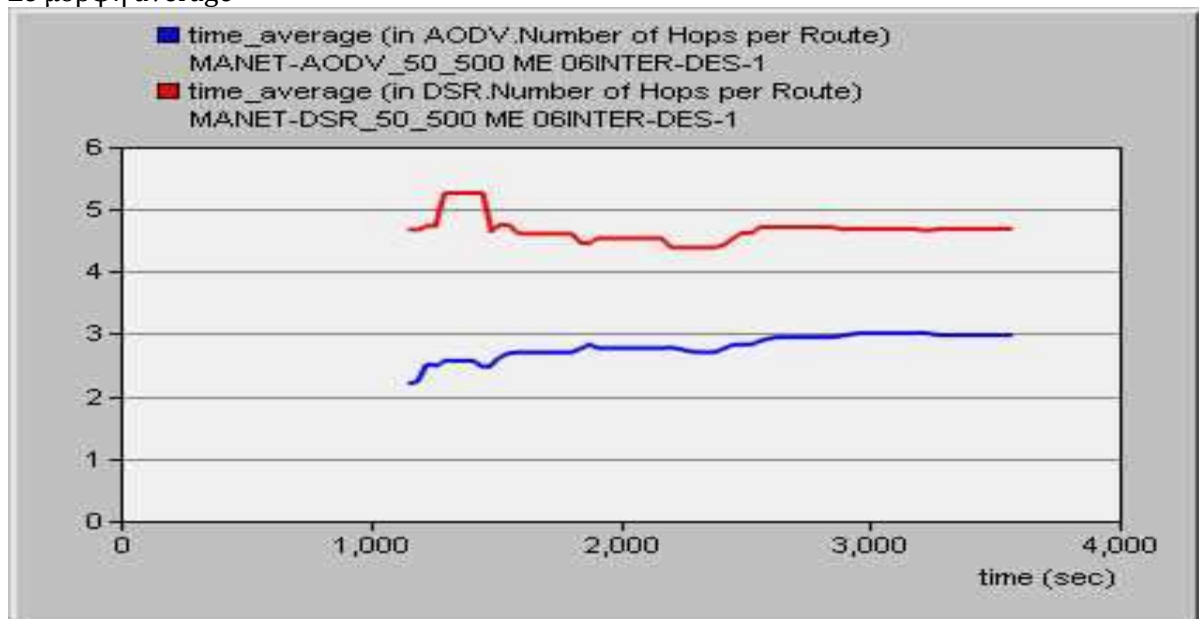
Σε μορφή Average



Βλέπουμε πάλι τα ίδια αποτελέσματα σε μορφή bits/sec, όπου στο AODV παρατηρούμε μια αύξηση των λαμβανόμενων bits.

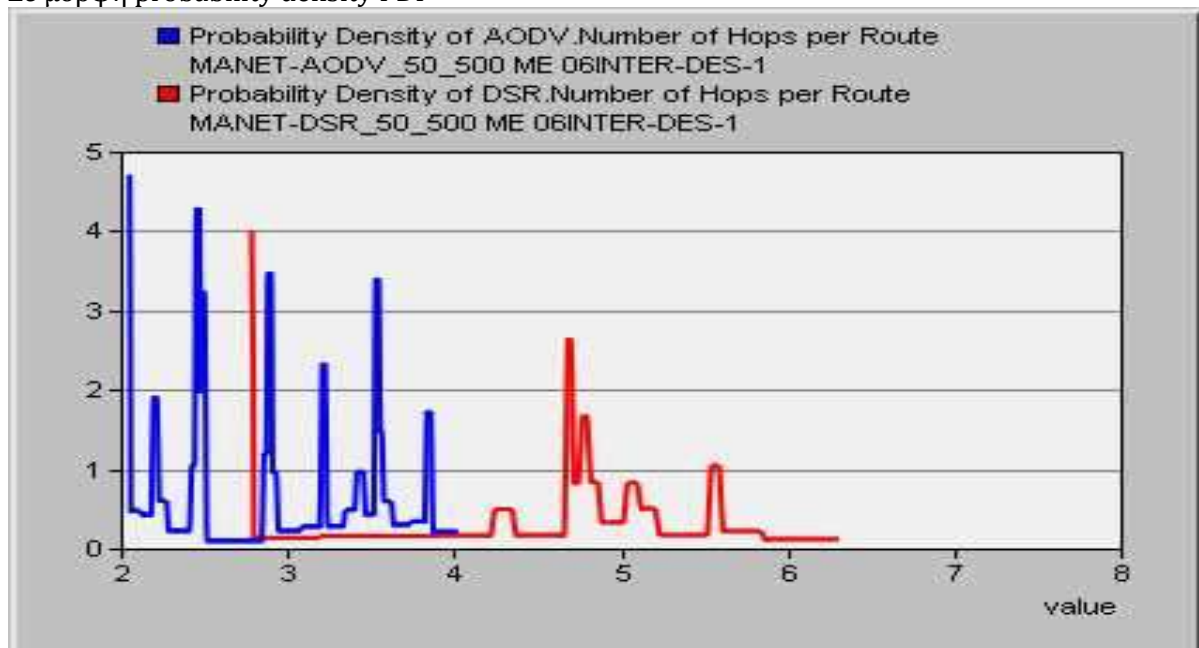
### 5.5 Number of hops per route

Σε μορφή average



Με το AODV έχουμε μικρότερο αριθμό κόμβων από τους οποίους περνάνε τα πακέτα για να φτάσουν στον παραλήπτη (Number of hops per Route).

Σε μορφή probability density PDF



Από το παραπάνω γράφημα βλέπουμε την συνάρτηση κατανομής πιθανοτήτων του AODV πιο συγκεντρωμένη σε ένα μικρό εύρος σε σχέση με εκείνη του DSR.

### 3<sup>ο</sup> μέρος

#### 3.1 DSR εφαρμογή

##### 3.1.1 Route Discovery Time

##### 3.1.2 Packet Network Delay(seconds)

##### 3.1.3 Total Packet Dropped

##### 3.1.4 Routing Traffic Send(packets/sec και bits/sec)

##### 3.1.5 Number of Hops per Route

#### 3.2 AODV εφαρμογή

##### 3.2.1 Route Discovery Time

##### 3.2.2 Packet Network Delay(seconds)

##### 3.2.3 Total Packet Dropped

##### 3.2.4 Routing Traffic Send(packets/sec και bits/sec)

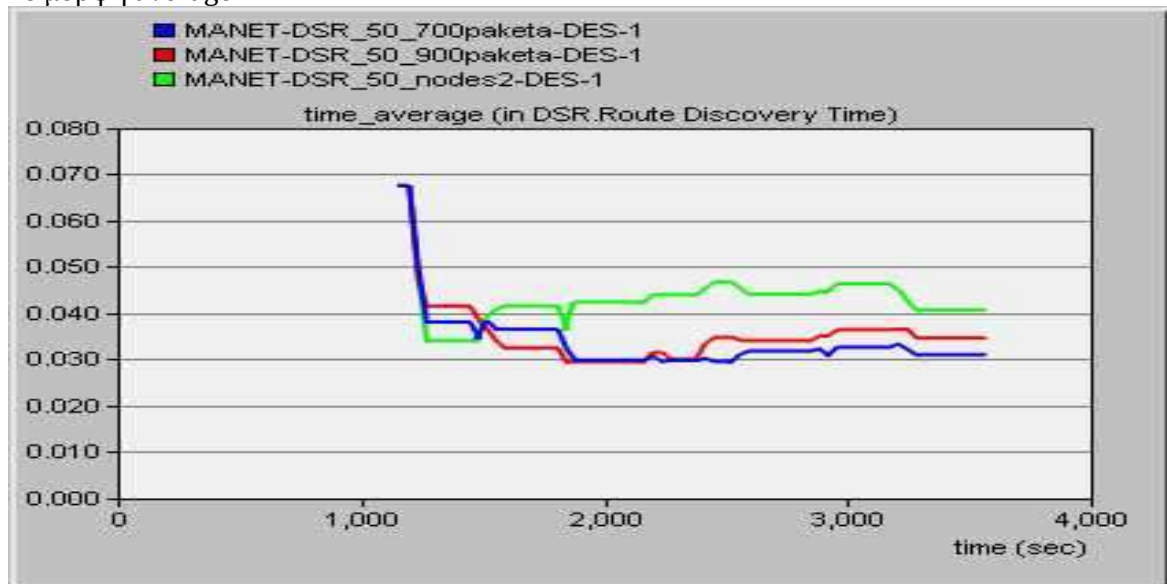
##### 3.2.5 Number of Hops per Route

### ➤ 3.1 DSR εφαρμογή

- ❖ Στην πρώτη περίπτωση, προσομοιώνουμε με το πρωτόκολλο DSR το Customer Application αλλάζοντας διαδοχικά το μέγεθος του πακέτου, ξεκινώντας από πακέτο μεγέθους 500 bytes, έπειτα 700 bytes και στο τέλος 900 bytes και κρατώντας το Interarrival Time σταθερό (0.01 sec). Παρακάτω παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα με τα διαφορετικά μεγέθη πακέτου και τα συγκρίνουμε.

#### 3.1.1 Route Discovery Time

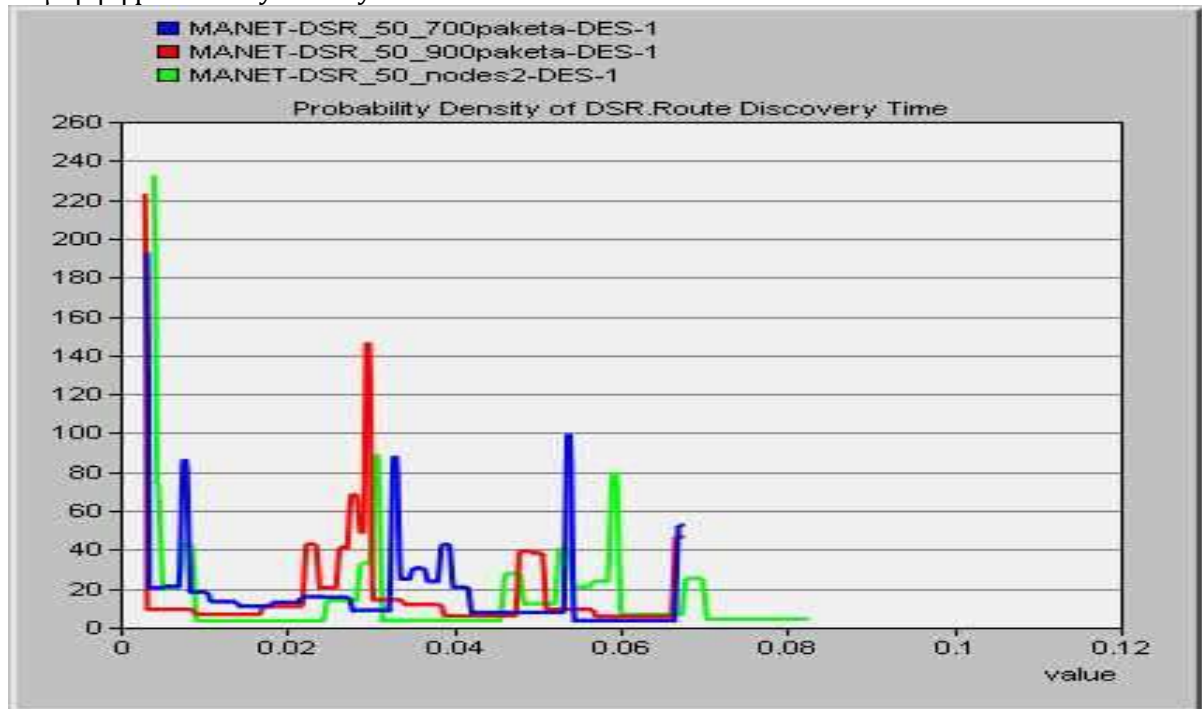
Σε μορφή average



Για μέγεθος πακέτου 500 bytes η καθυστέρηση ανακάλυψης διαδρομής είναι μεγαλύτερη σε σχέση με πακέτα μεγέθους 700 και 900 bytes .



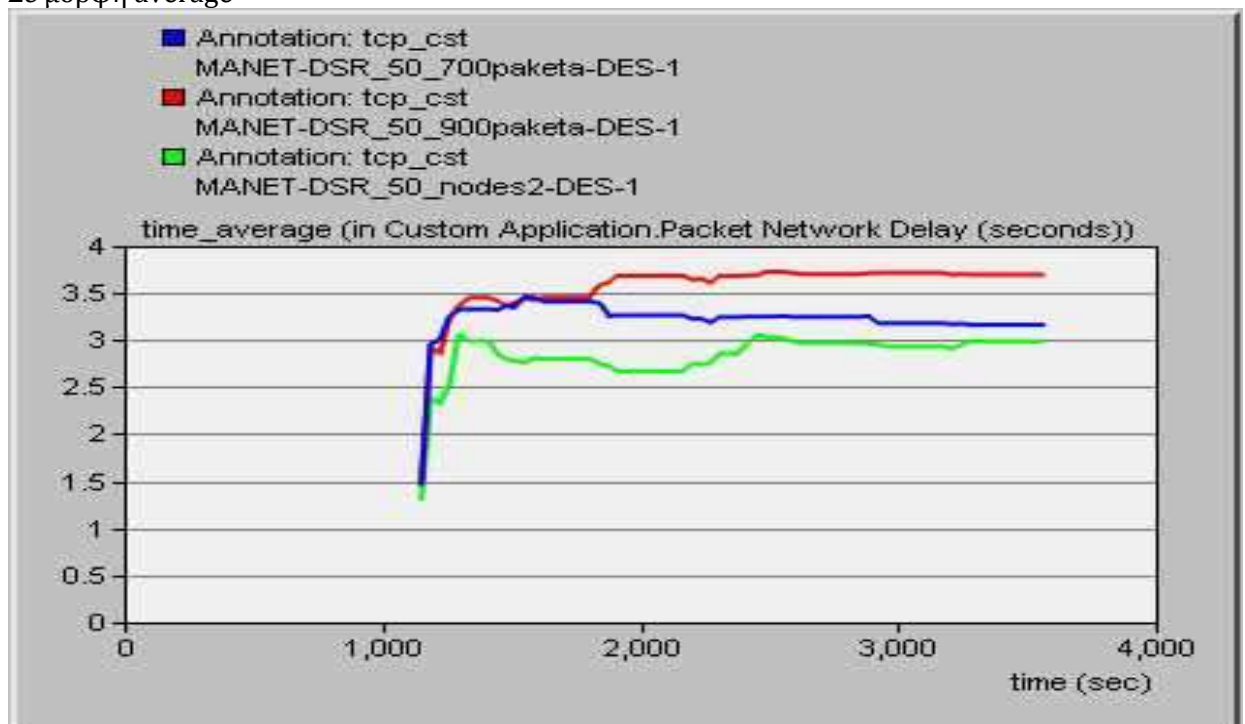
Σε μορφή probability density PDF



Φαίνεται στο πάνω γράφημα ότι η συνάρτηση κατανομής πιθανοτήτων για πακέτο μεγέθους 500 bytes είναι πιο απλωμένη σε σχέση με τις άλλες δύο.

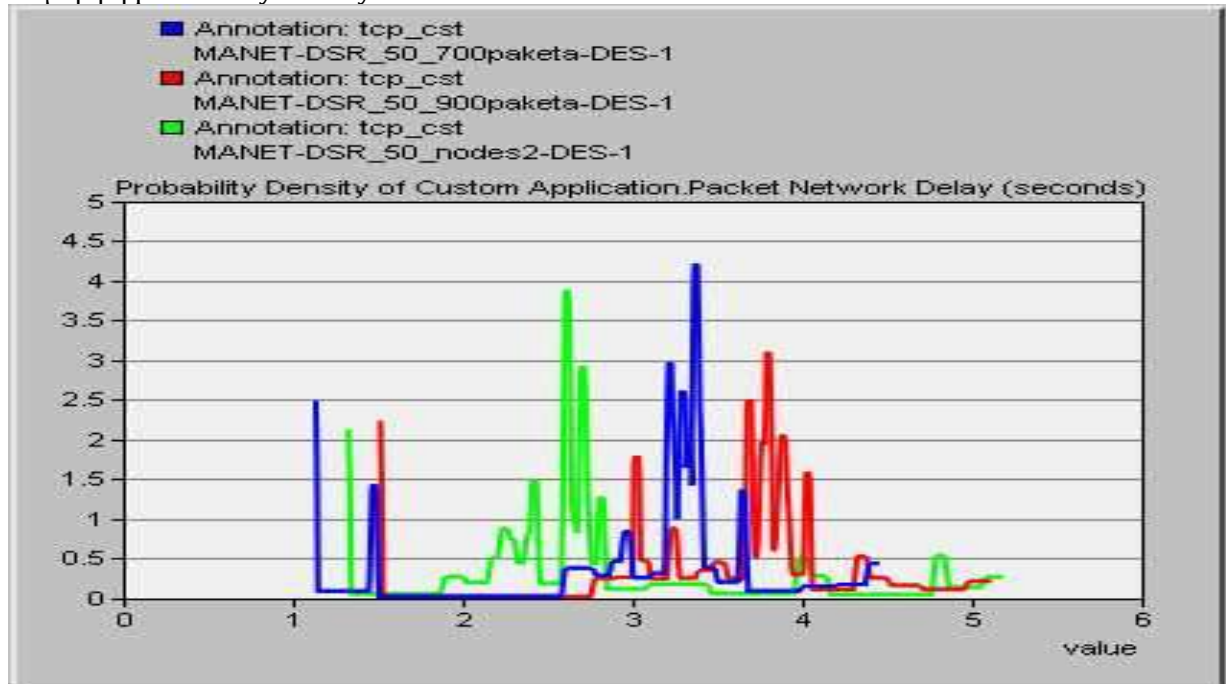
### 3.1.2 Packet Network Delay(seconds)

Σε μορφή average





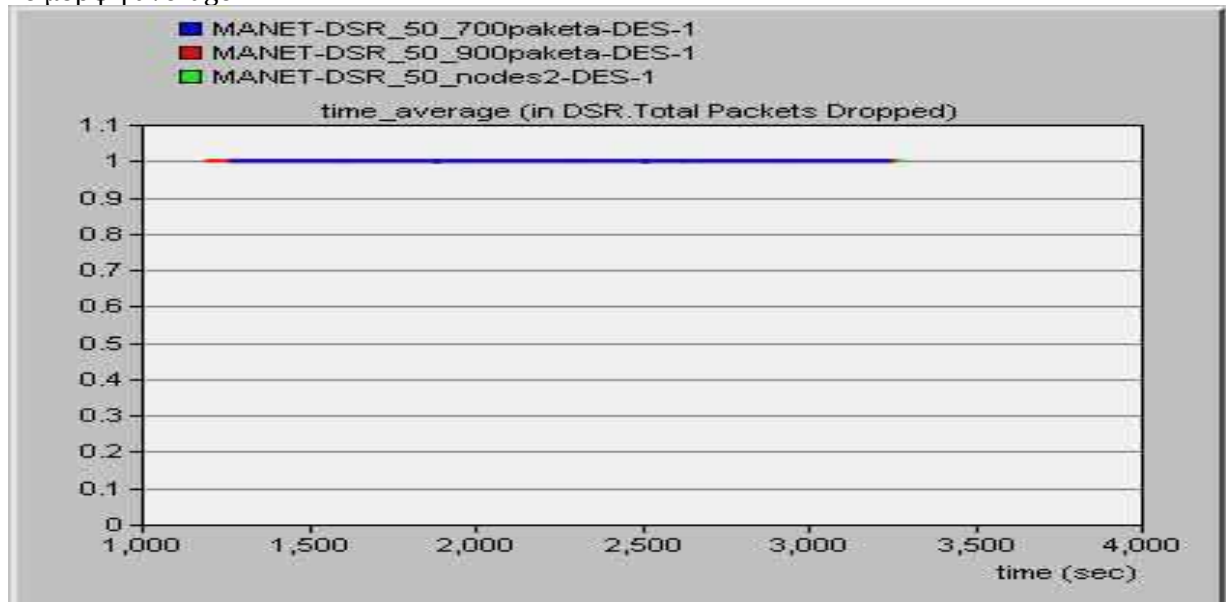
Σε μορφή probability density PDF



Στα παραπάνω γραφήματα παρατηρούμε ότι, όσο μεγαλώνει το πακέτο, τόσο μεγαλώνει και η καθυστέρηση δρομολόγησής του στο δίκτυο. Για 700 και 900 bytes μέγεθος πακέτου, επειδή είναι μεγάλα τα πακέτα, θα χρειαστεί να γίνει τεμαχισμός κατά την δρομολόγησή του μέσα στο δίκτυο.

### 3.1.3 Total Packet Dropped

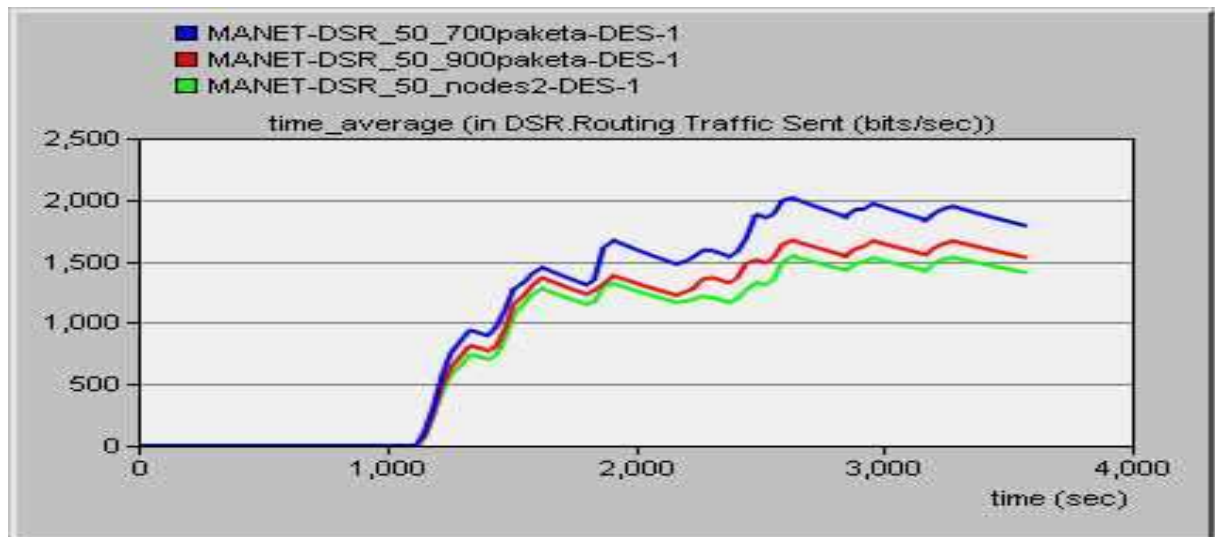
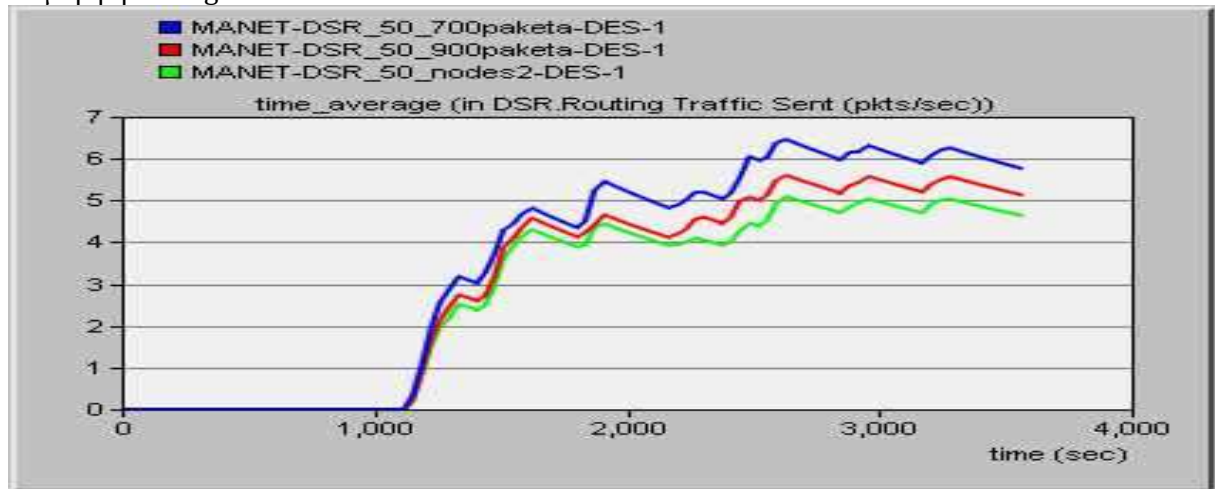
Σε μορφή average



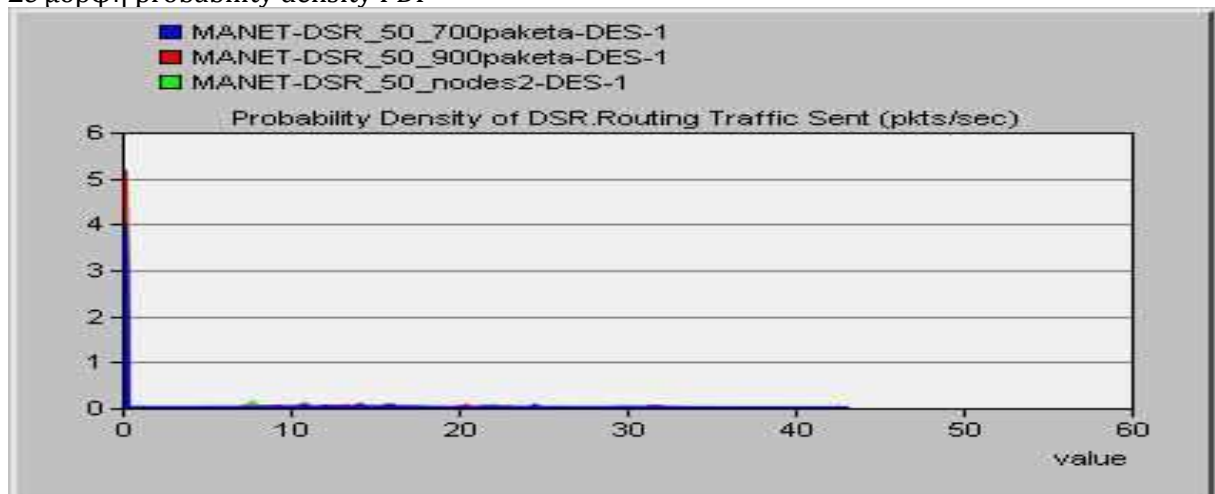
Όσον αφορά τον αριθμό των απορριπτόμενων πακέτων (Total Packets Dropped), έχουμε ένα ποσοστό που είναι σταθερό για όλα τα μεγέθη πακέτων. Επομένως, αυτό που επηρεάζει την μετάδοση σχετίζεται με το Route Discovery Time και την καθυστέρηση δρομολόγησής στο δίκτυο.

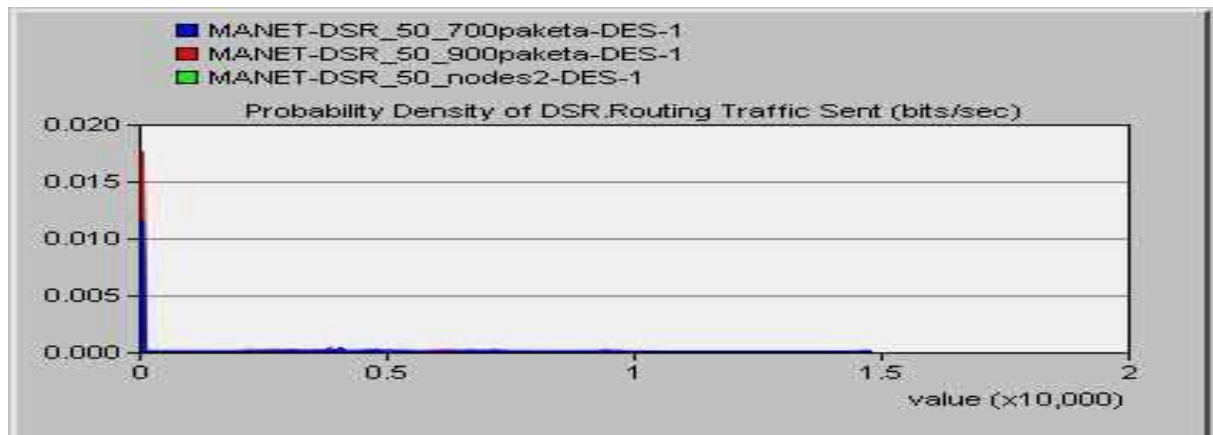
### 3.1.4 Routing Traffic Send(packets/sec και bits/sec)

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF

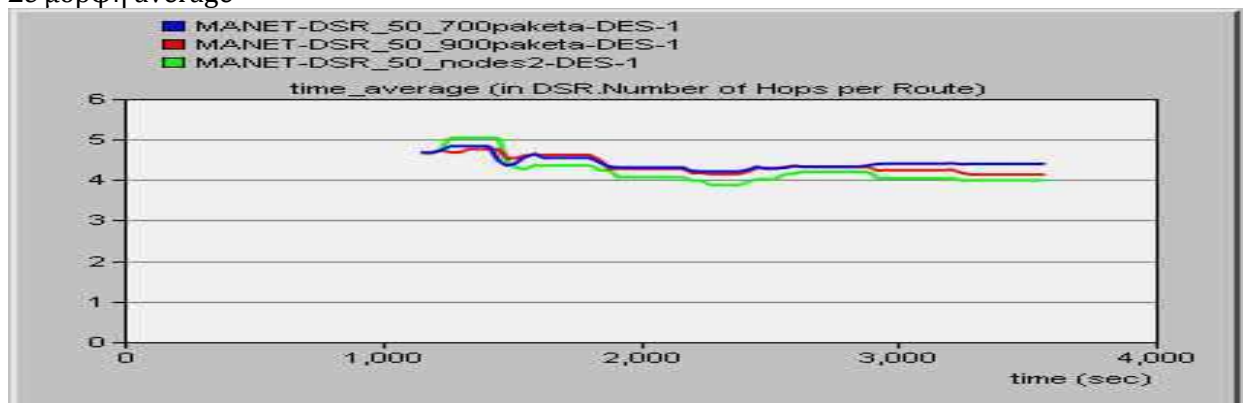




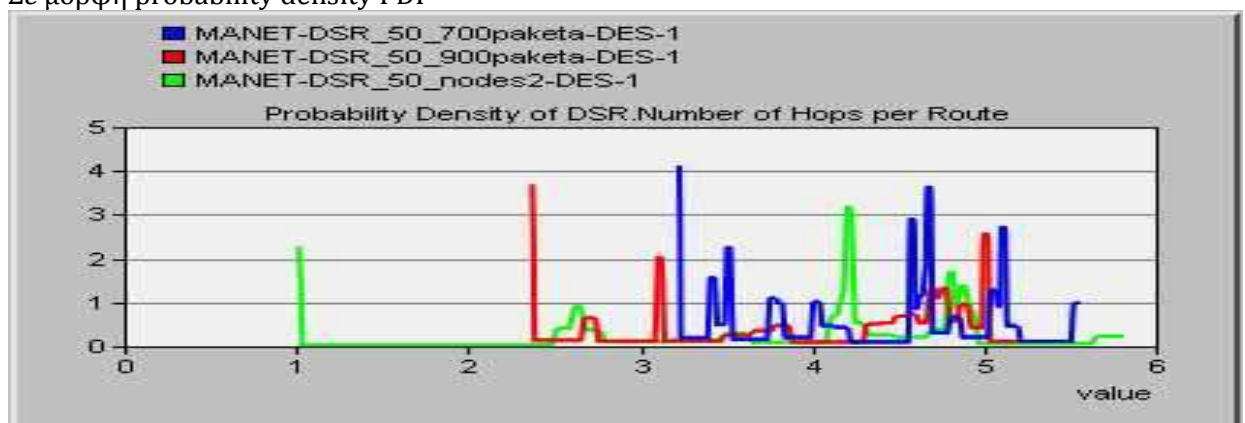
Παρατηρούμε ότι για τα πακέτα με μέγεθος 700 και 900 bytes στέλνεται μεγαλύτερη κίνηση (Routing Traffic Sent) στο δίκτυο σε σχέση με το πακέτο μεγέθους 500 bytes.

### 3.1.5 Number of Hops per Route

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF

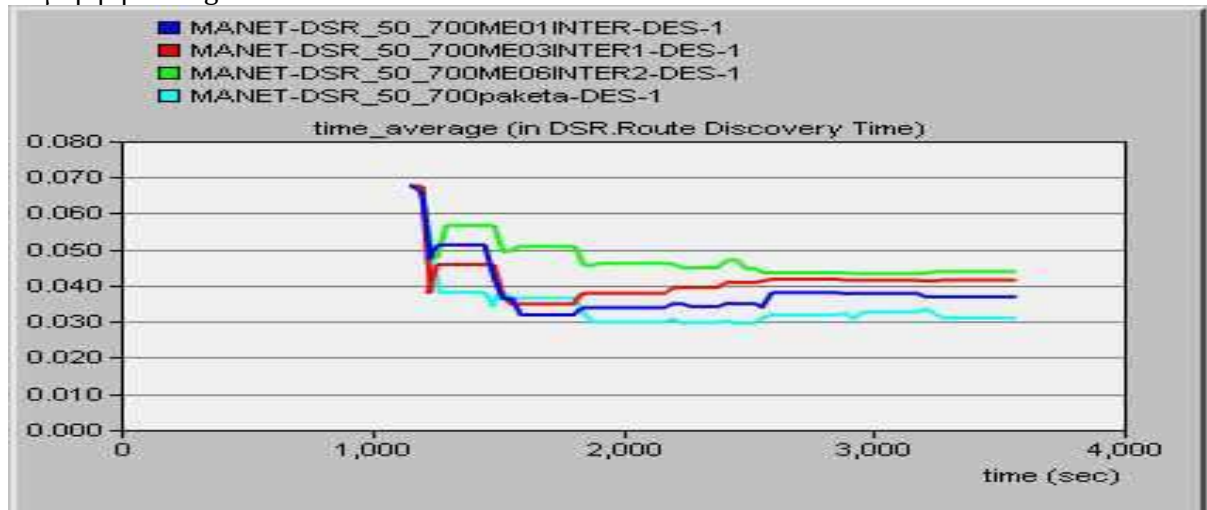


Αν και έχουμε παρατηρήσει ότι το Number of Hops per Route για πακέτο μεγέθους 500 bytes είναι μικρότερο από εκείνο με πακέτα των 700 και 900 bytes, το Routing Traffic Sent για τα πακέτα αυτά (700 και 900 bytes ) είναι μεγαλύτερο σχετικά με το πακέτο των 500 bytes.

- ❖ Στην δεύτερη περίπτωση, προσομοιώνουμε με το πρωτόκολλο DSR το Customer Application αλλάζοντας διαδοχικά το Interarrival Time, ξεκινώντας από Interarrival Time 0.01 sec, έπειτα 0.1 sec , 0.3 sec και στο τέλος 0.6 sec. Κατά την διάρκεια της προσομοίωσης το μέγεθος του πακέτου παραμένει σταθερό (700 bytes). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

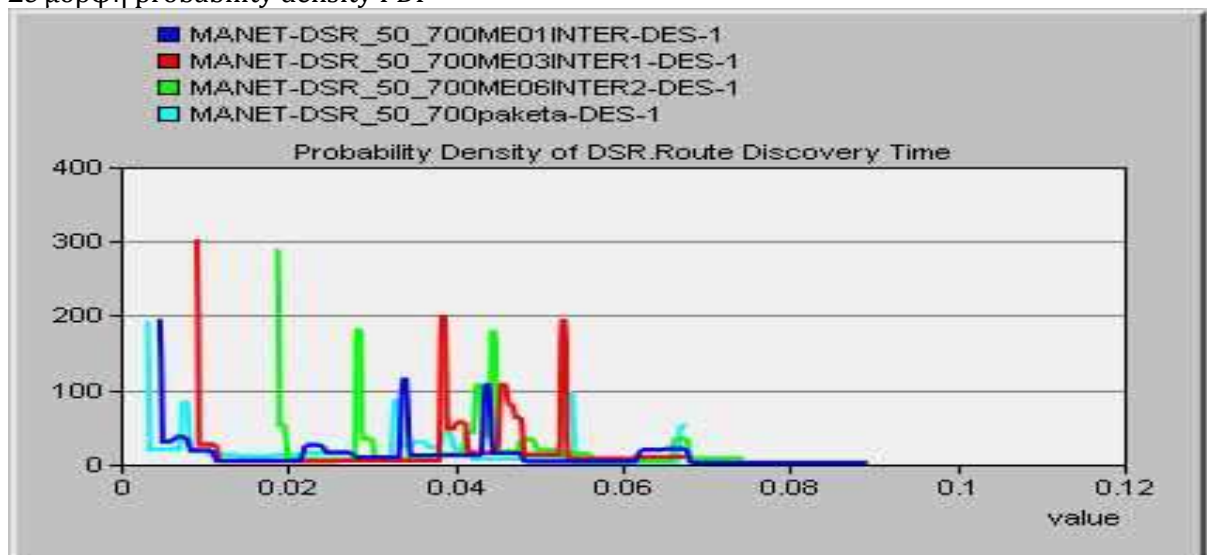
### 3.1.1 Route Discovery Time

Σε μορφή average



Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνει το Interarrival Time, τόσο μεγαλώνει ο χρόνος ανακάλυψης διαδρομής (Route Discovery Time), δηλαδή το πακέτο των 700 bytes με Interarrival Time 0.6 sec έχει το μεγαλύτερο Route Discovery Time σε σχέση με τα υπόλοιπα πακέτα που έχουν μικρότερο Route Discovery Time.

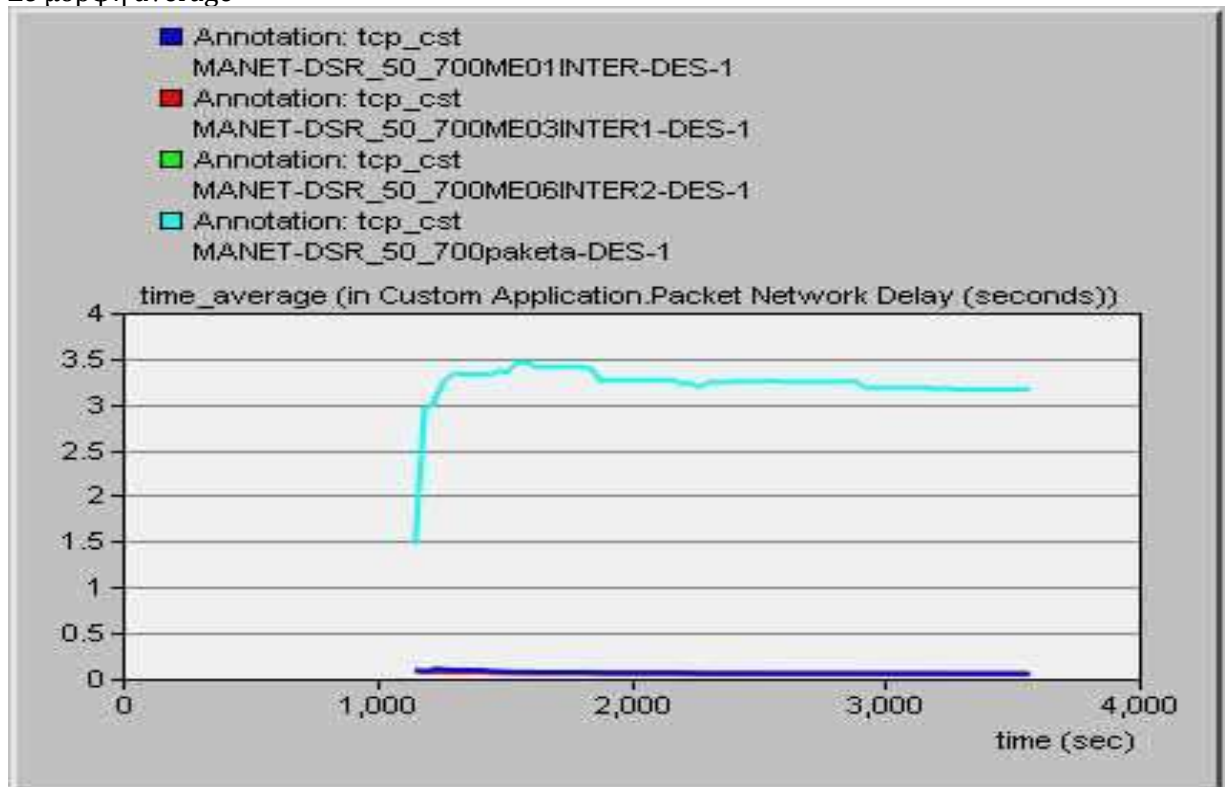
Σε μορφή probability density PDF



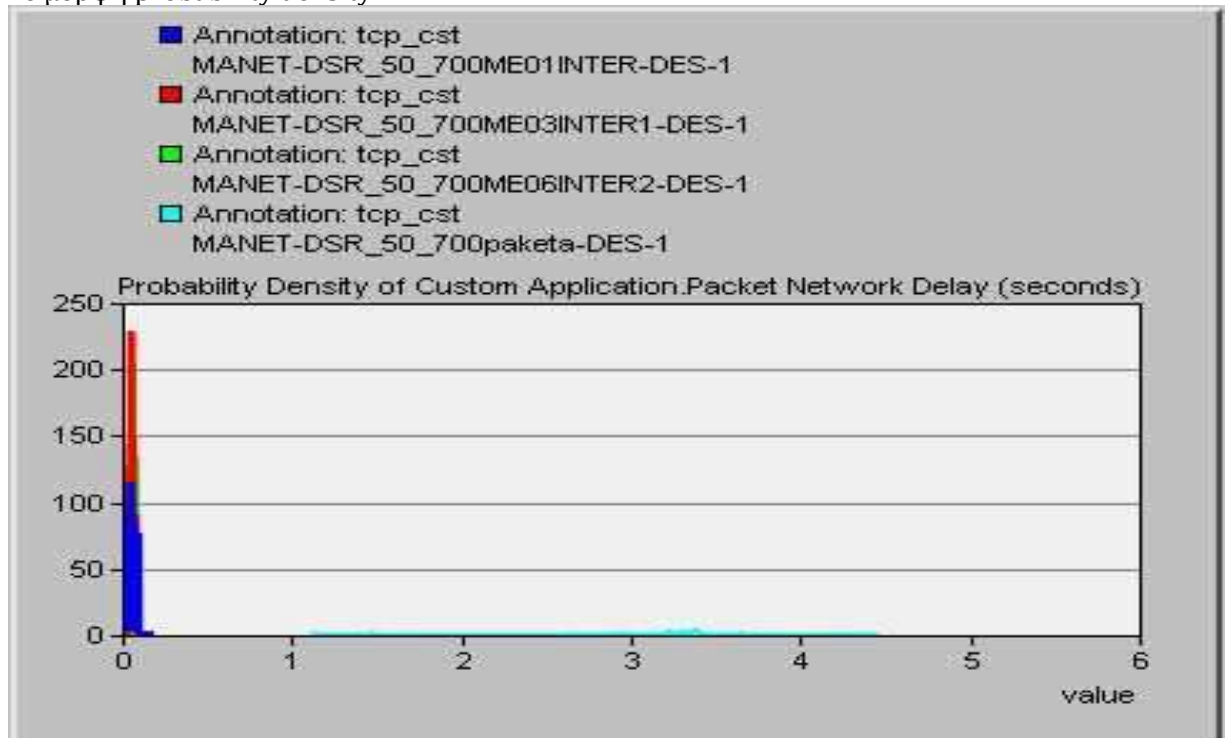
Φαίνεται στο παραπάνω γράφημα ότι η συνάρτηση κατανομής πιθανοτήτων για πακέτο μεγέθους 700 bytes με Interarrival Time 0.01 sec είναι πιο συγκεντρωμένη στην αρχή του άξονα και λιγότερο απλωμένη σε σύγκριση με τις άλλες.

### 3.1.2 Packet Network Delay(seconds)

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF

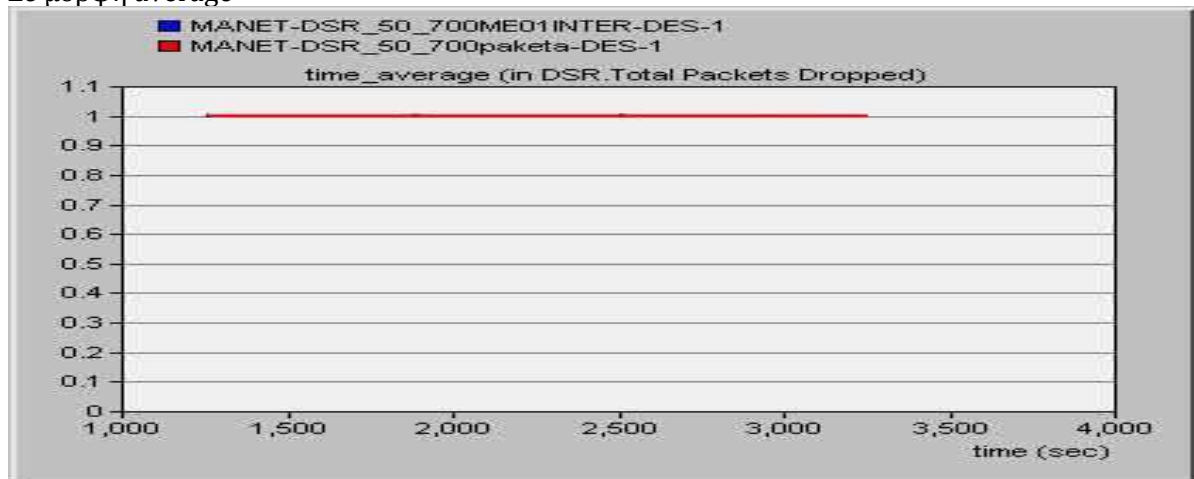


Όπως φαίνεται στις παραπάνω γραφικές, όσο πιο μεγάλη γίνεται η τιμή του Interarrival Time, τόσο πιο μικρή καθυστέρηση παρουσιάζει η δρομολόγηση του πακέτου στο δίκτυο.



### 3.1.3 Total Packet Dropped

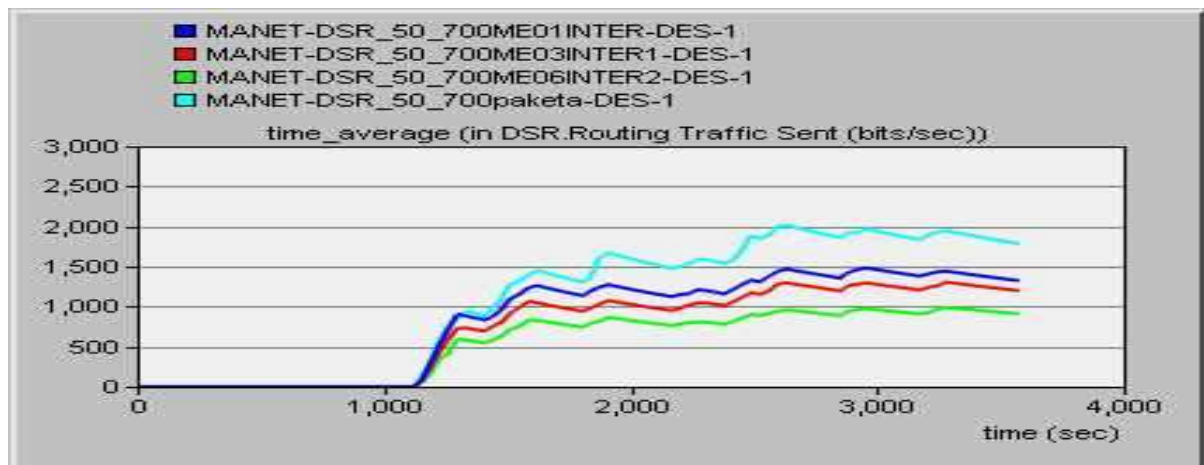
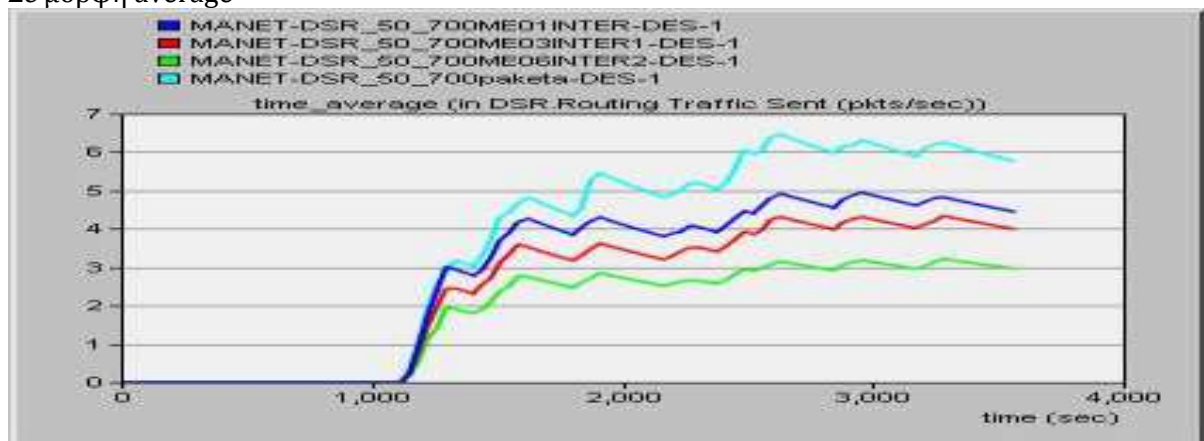
Σε μορφή average



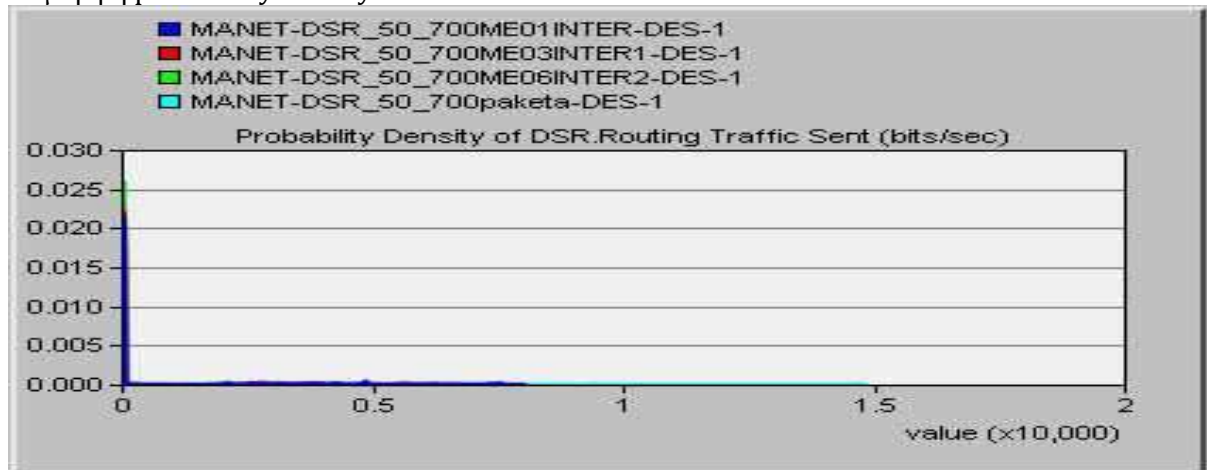
Άρα, απώλεια πακέτων της τάξης της μονάδας έχουμε μόνο στις δύο περιπτώσεις όπου το Interarrival Time είναι ίσον με 0.01 ή 0.1 sec (με άλλα λόγια στις μικρότερες τιμές του Interarrival Time), ενώ στις μεγαλύτερες τιμές του Interarrival Time δεν έχουμε απώλεια.

### 3.1.4 Routing Traffic Send(packets/sec και bits/sec)

Σε μορφή average



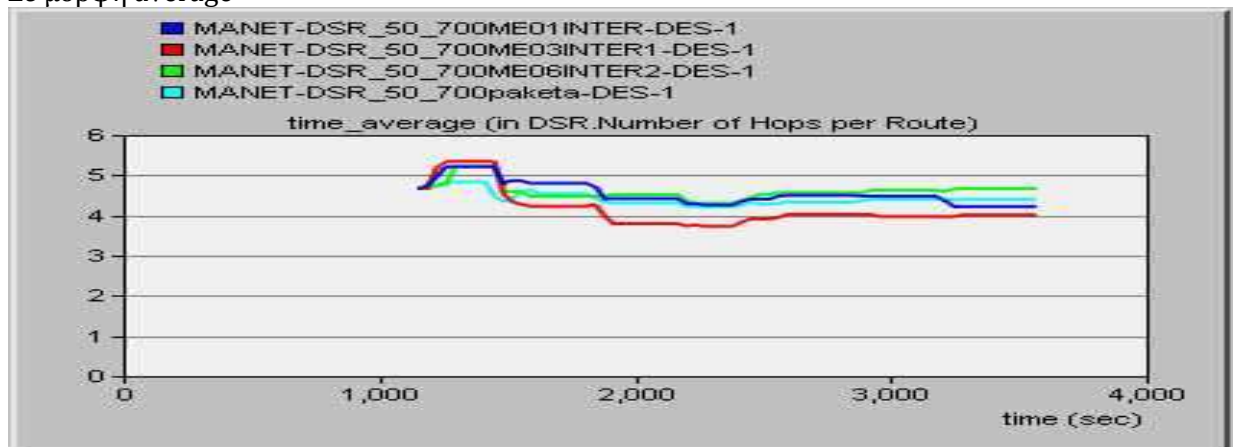
Σε μορφή probability density PDF



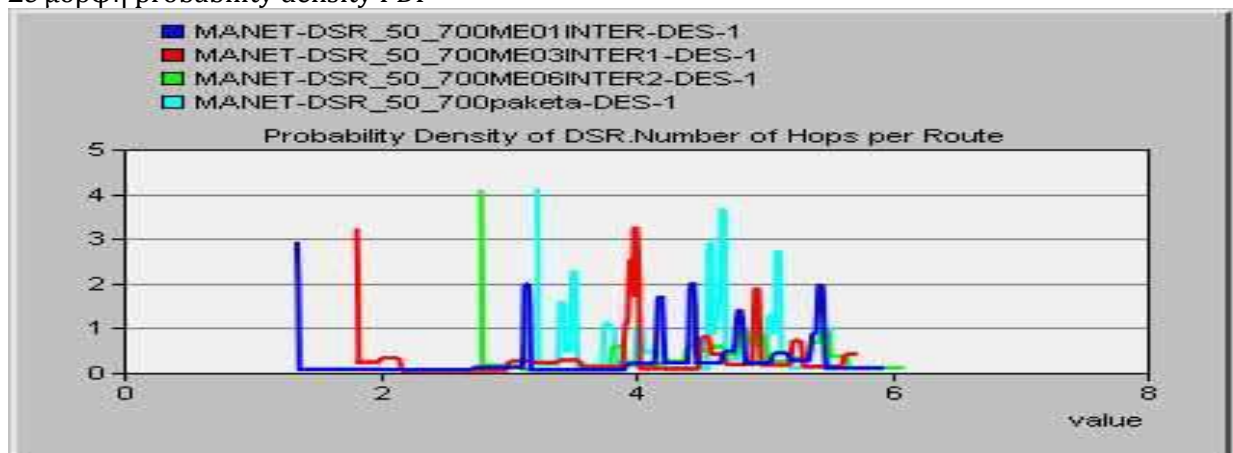
Παρατηρούμε στα παραπάνω γραφήματα ότι όσο πιο μικρό Interarrival Time βάζουμε, τόσο πιο μεγάλη κίνηση στέλνεται (Traffic Sent) στο δίκτυο. Η αύξηση του Interarrival Time έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της σταλμένης κίνησης στο δίκτυο.

### 3.1.5 Number of Hops per Route

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF



Το Number of Hops per Route είναι περίπου ίδιο σε όλες τις περιπτώσεις του Interarrival Time.

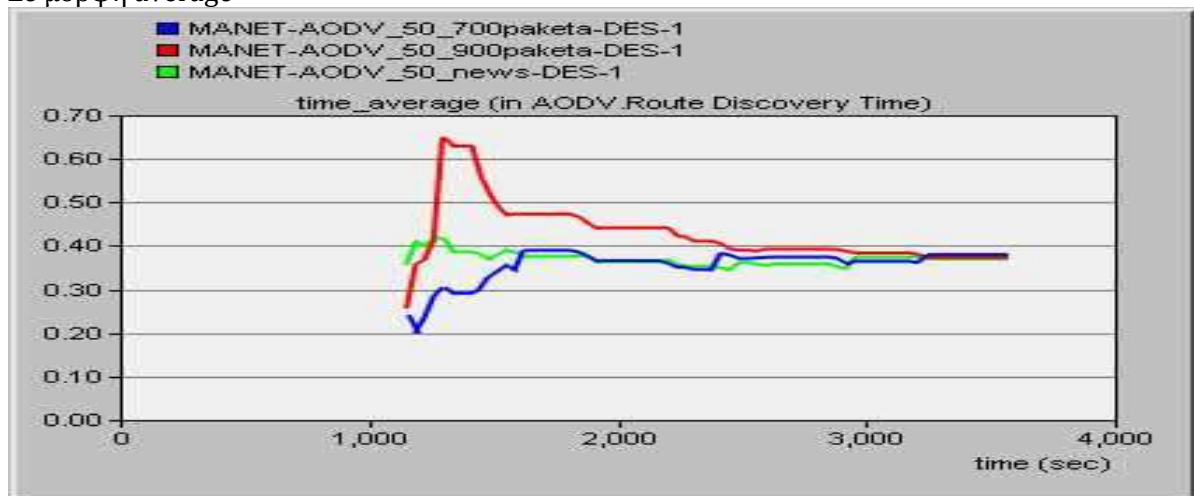


### ➤ 3.2 AODV εφαρμογή

- ❖ Στην πρώτη περίπτωση, προσομοιώνουμε με το πρωτόκολλο AODV το Customer Application αλλάζοντας διαδοχικά το μέγεθος του πακέτου, ξεκινώντας από πακέτο μεγέθους 500 bytes, έπειτα 700 bytes και στο τέλος 900 bytes και διατηρώντας το Interarrival Time σταθερό (0.01 sec). Παρακάτω παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα με τα διαφορετικά μεγέθη πακέτων και τα συγκρίνουμε.

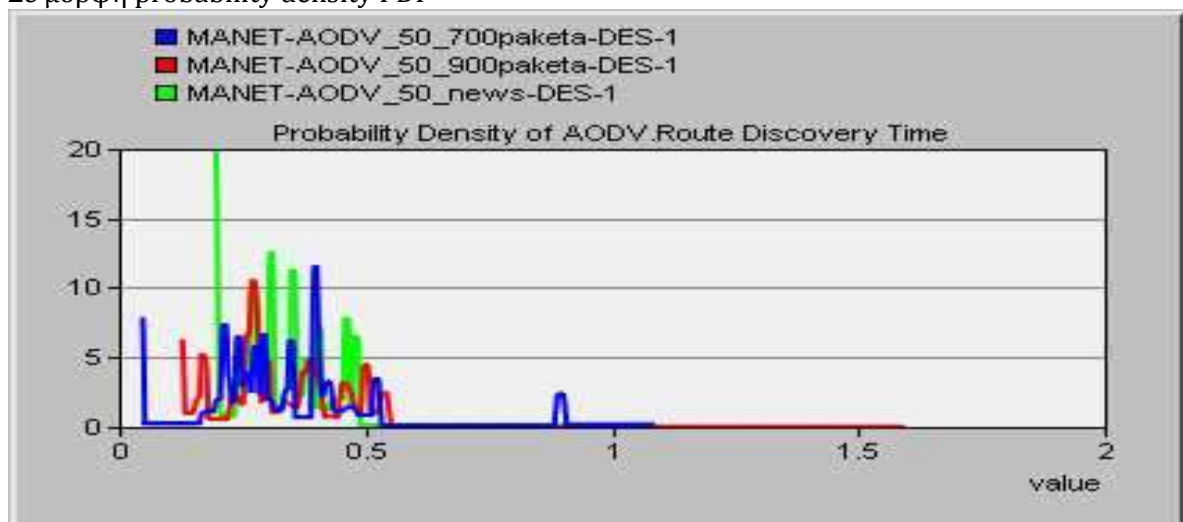
#### 3.2.1 Route Discovery Time

Σε μορφή average



Παρατηρούμε ότι η καθυστέρηση ανακάλυψης διαδρομής(Route Discovery Time) είναι σχεδόν σταθερή για όλα τα μεγέθη πακέτων.

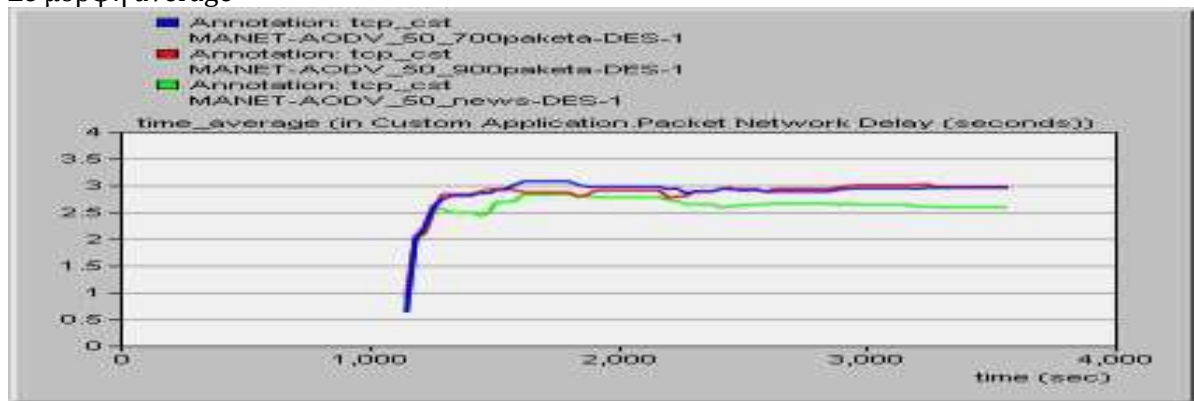
Σε μορφή probability density PDF



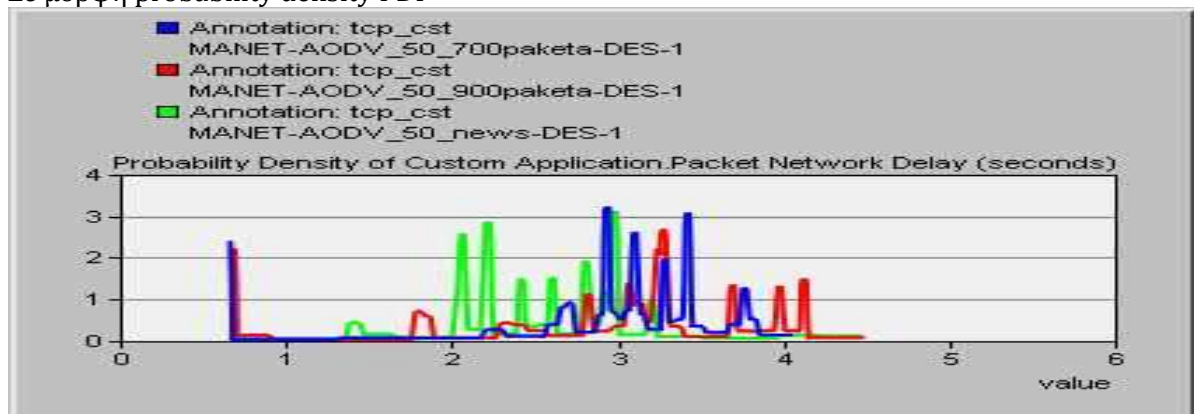
Φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα ότι η κατανομή της συνάρτησης πιθανότητας για πακέτα μεγέθους 500 , 700 και 900 bytes είναι πιο συγκεντρωμένη στην αρχή του άξονα, δηλαδή γύρω από ένα μικρό εύρος τιμών.

### 3.2.2 Packet Network Delay(seconds)

Σε μορφή average



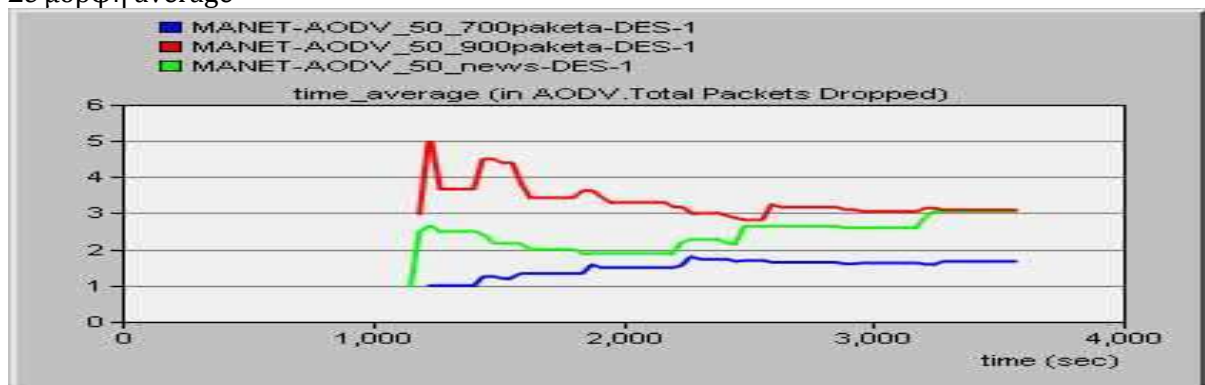
Σε μορφή probability density PDF



Παρατηρούμε ότι η καθυστέρηση των πακέτων κατά την δρομολόγηση εξαρτάται από το μέγεθός τους. Στην περίπτωση των 700 και 900 bytes έχουμε μεγαλύτερη καθυστέρηση δρομολόγησης στο δίκτυο, ενώ για πακέτα μήκους 500 bytes, η καθυστέρηση αυτή είναι μικρή.

### 3.2.3 Total Packet Dropped

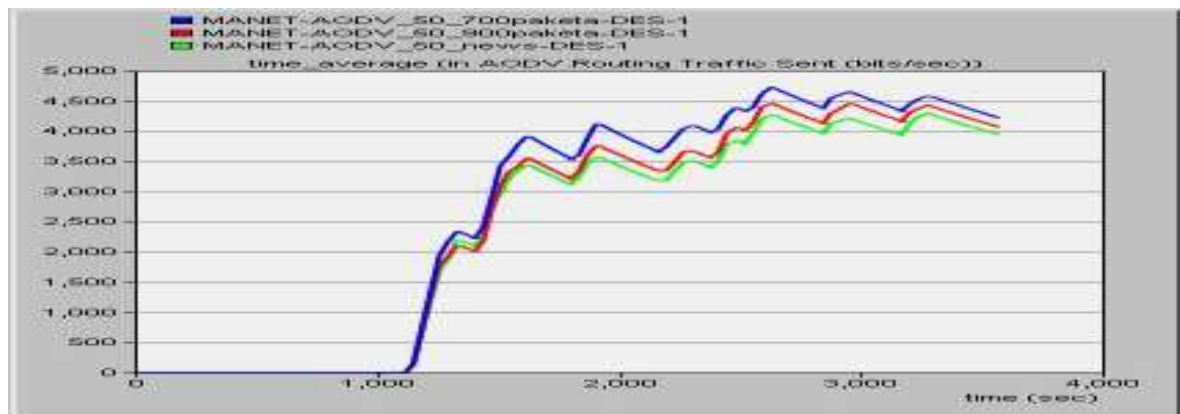
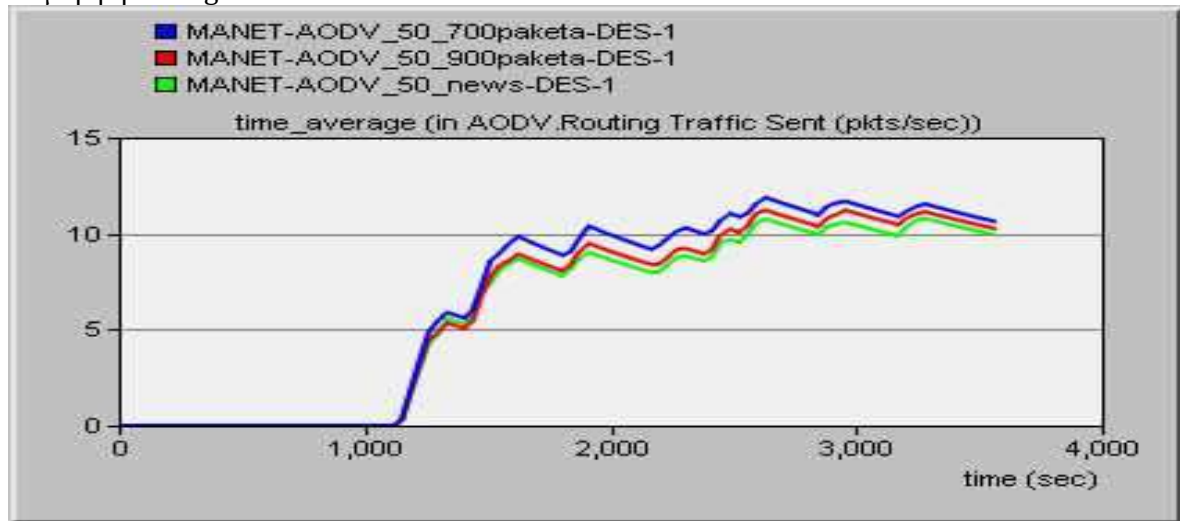
Σε μορφή average



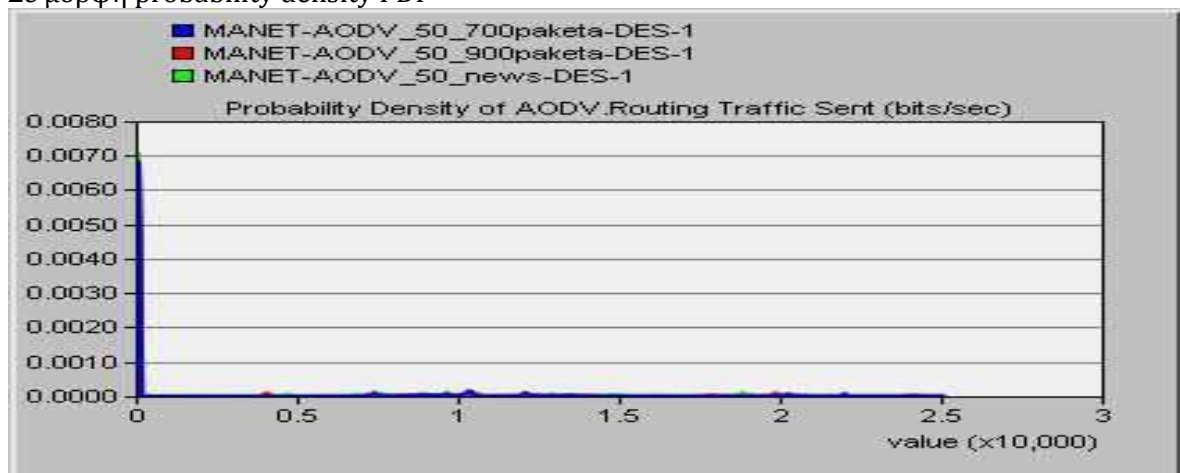
Όσον αφορά την απώλεια πακέτων (Total Packets Dropped), παρατηρούμε ότι τα πακέτα των 500 και 900 bytes παρουσιάζουν μεγαλύτερη απώλεια.

### 3.2.4 Routing Traffic Send(packets/sec και bits/sec)

Σε μορφή average



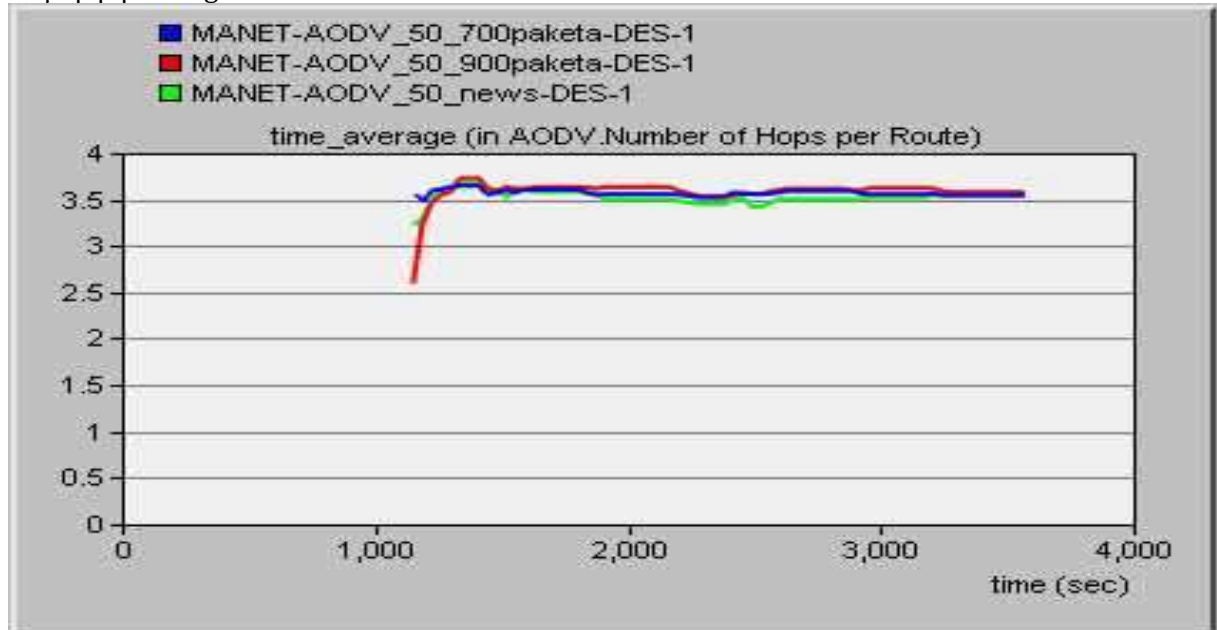
Σε μορφή probability density PDF



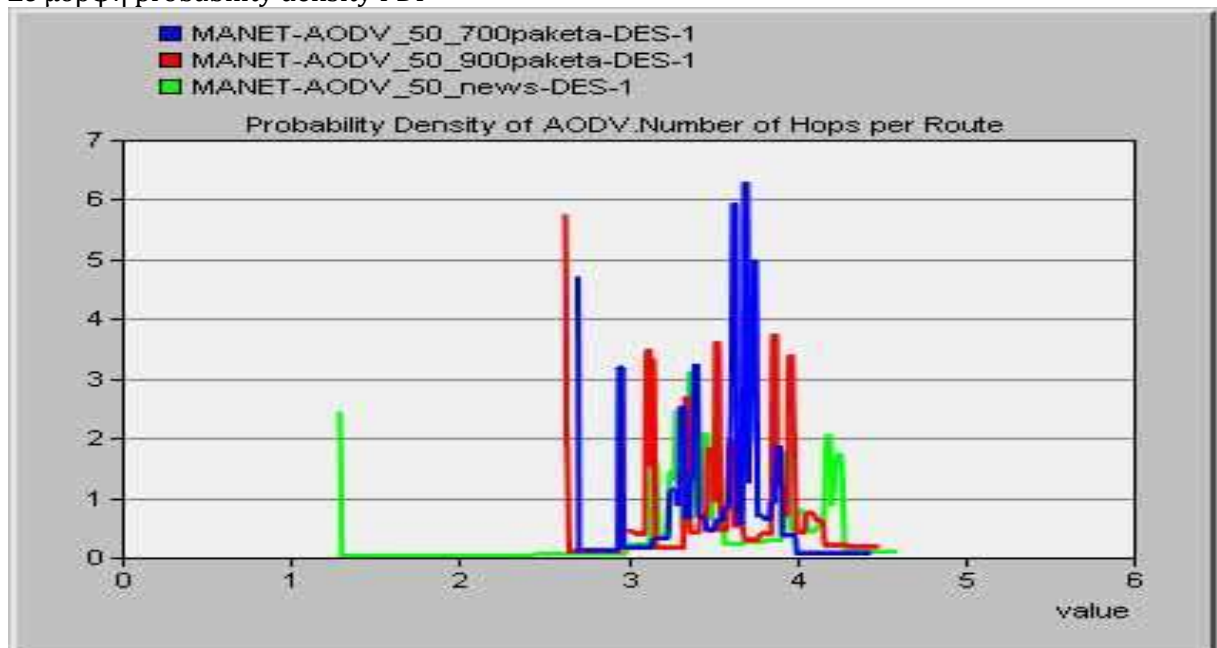
Παρατηρούμε ότι με πακέτα μεγέθους 700 και 900 bytes στέλνεται μεγαλύτερη κίνηση ( Routing Traffic Sent ) στο δίκτυο σε σχέση με πακέτα μεγέθους 500 bytes .

### 3.2.5 Number of Hops per Route

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF

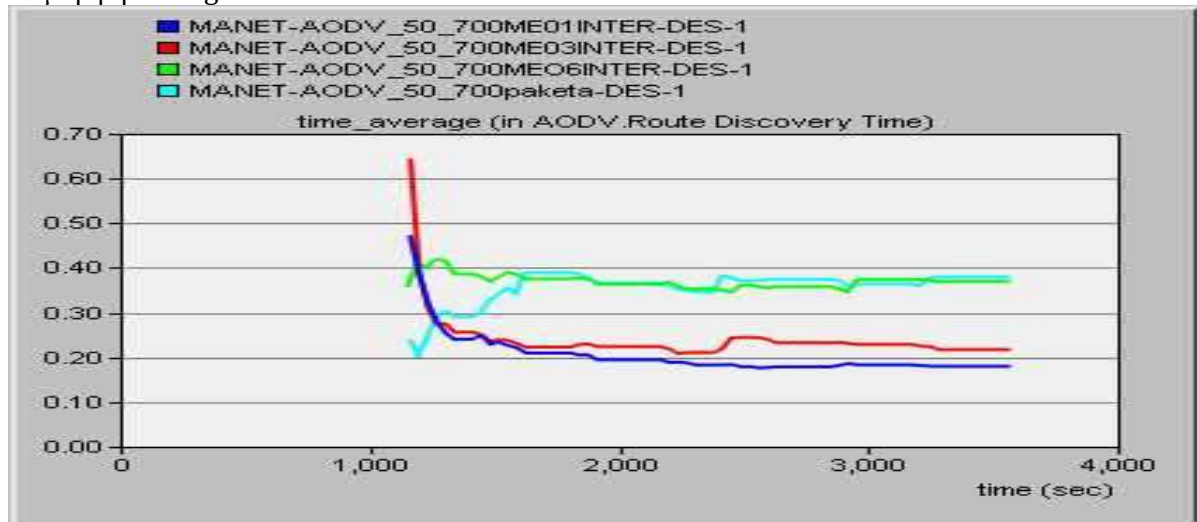


Παρατηρούμε ότι το Number of Hops per Route για όλα τα μεγέθη πακέτων είναι περίπου ίδιο με μέσο όρο 3.5 ~ 4 hops/Route.

- ❖ Στην δεύτερη περίπτωση, προσομοιώνουμε με το πρωτόκολλο AODV το Customer Application αλλάζοντας διαδοχικά το Interarrival Time, ξεκινώντας από Interarrival Time 0.01 sec, έπειτα 0.1 sec , 0.3 sec και στο τέλος 0.6 sec. Κατά την διάρκεια της προσομοίωσης το μέγεθος του πακέτου παραμένει σταθερό και ίσο με 700 bytes. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

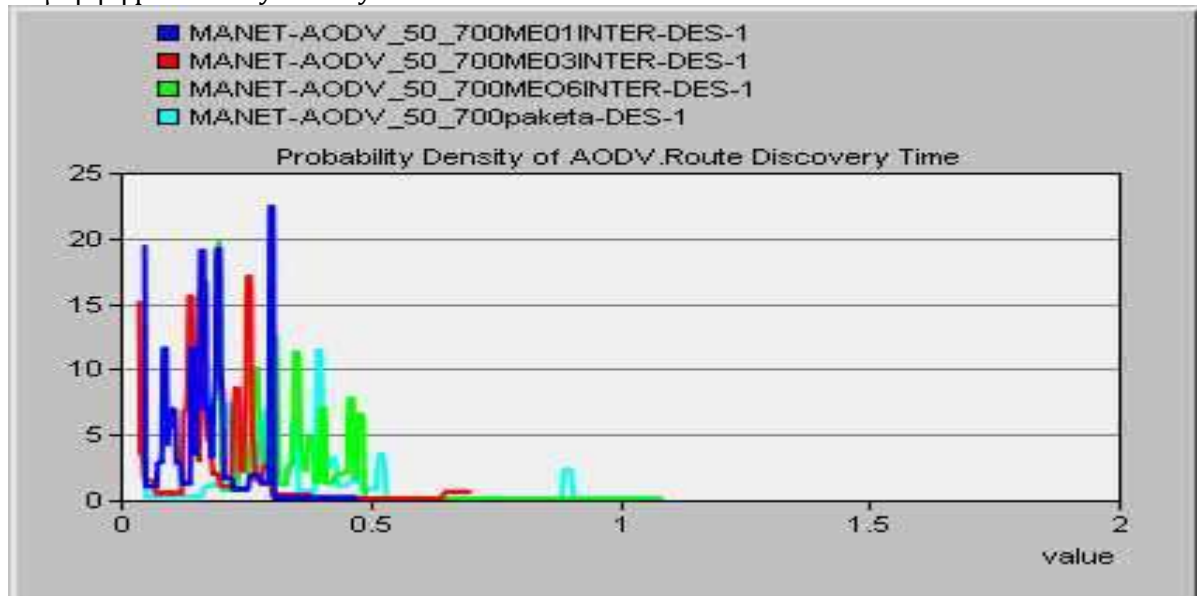
### 3.2.1 Route Discovery Time

Σε μορφή average



Παρατηρούμε ότι με Interarrival Time 0.1 sec έχουμε μικρότερο χρόνο ανακάλυψης διαδρομής δρομολόγησης. Τη χειρότερη περίπτωση έχουμε με Interarrival Time 0.01 sec.

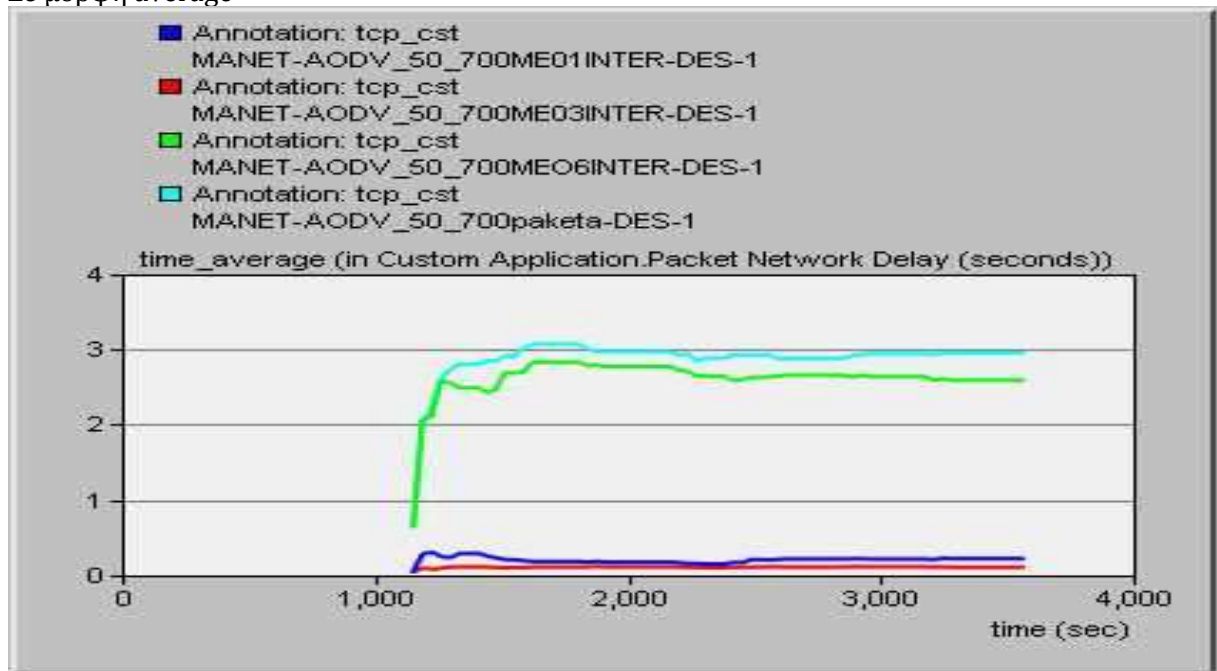
Σε μορφή probability density PDF



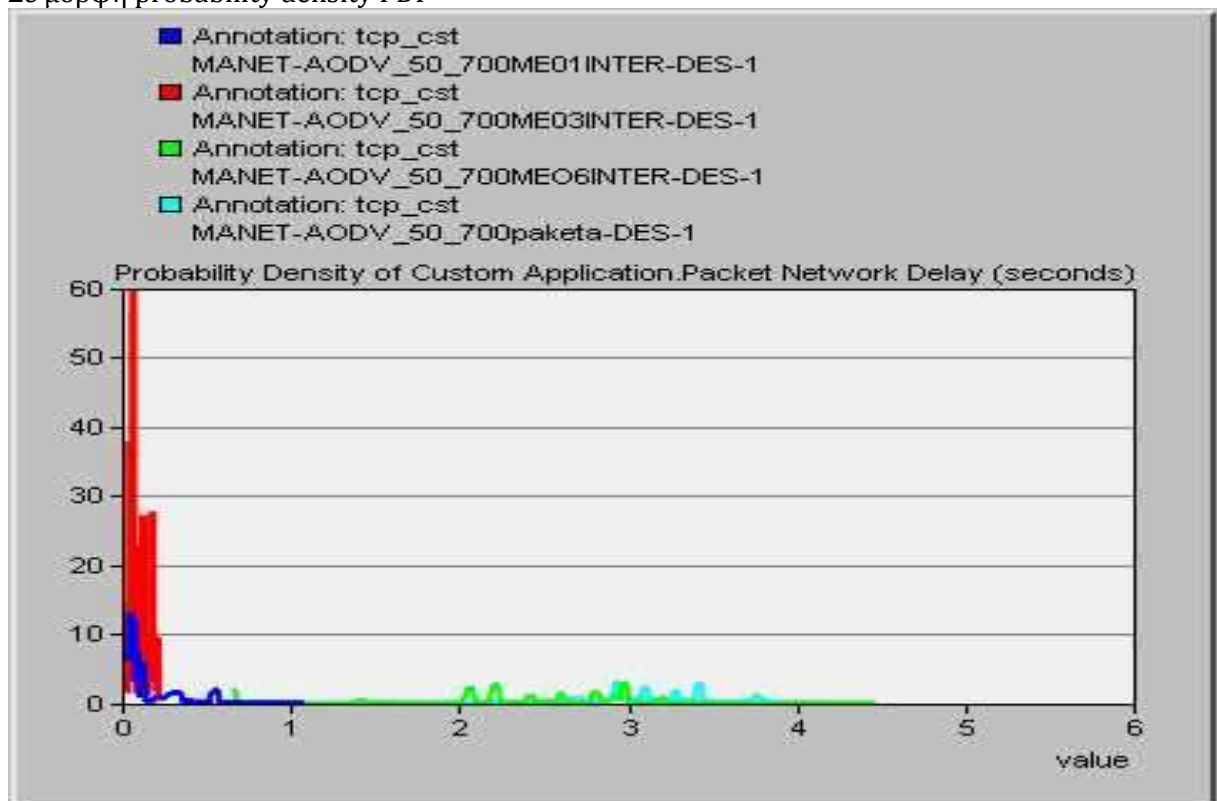
Φαίνεται στην παραπάνω γραφική ότι η συνάρτηση κατανομής πιθανοτήτων για πακέτο μεγέθους 700 bytes με Interarrival Time 0.1 sec είναι πιο συγκεντρωμένη σε ένα μικρό εύρος τιμών και λιγότερο απλωμένη σε σχέση με τις άλλες.

### 3.2.2 Packet Network Delay(seconds)

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF

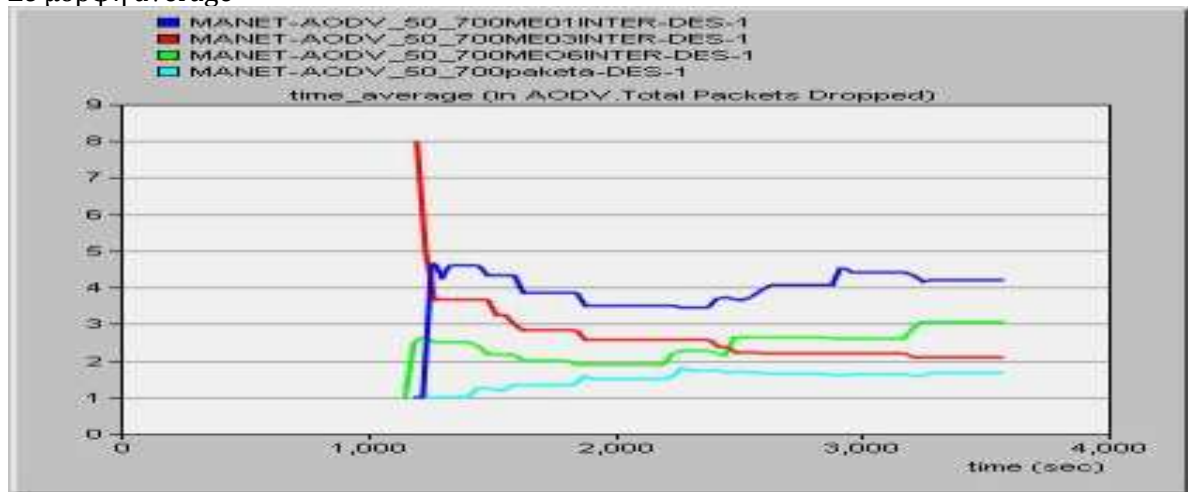


Τα πακέτα με Interarrival Time 0.1 ή 0.3 sec συμπεριφέρονται καλύτερα (δηλαδή έχουν μικρότερη καθυστέρηση δρομολόγησης) σε σχέση με εκείνα τα οποία έχουν Interarrival Time 0.01 ή 0.6 sec.



### 3.2.3 Total Packet Dropped

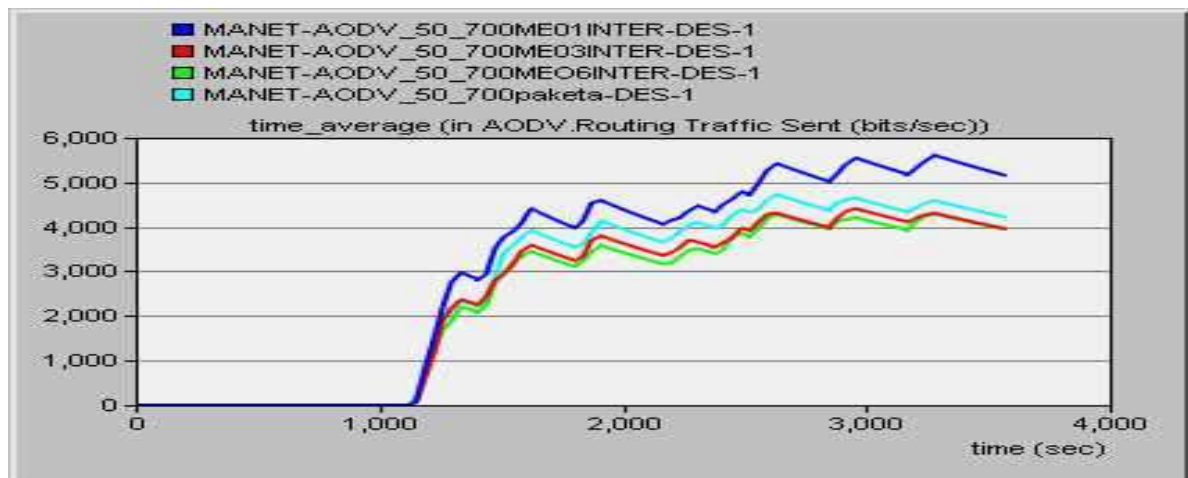
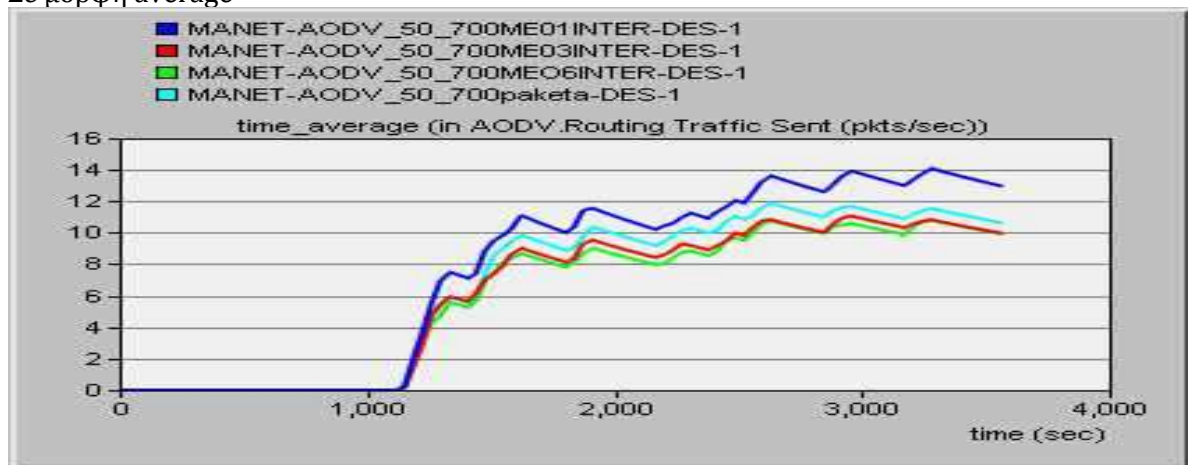
Σε μορφή average



Όσον αφορά τον αριθμό των απορριπτόμενων πακέτων (Total Packets Dropped) έχουμε ένα μικρότερο ποσοστό στην περίπτωση του Interarrival Time 0.01 και 0.3 sec.

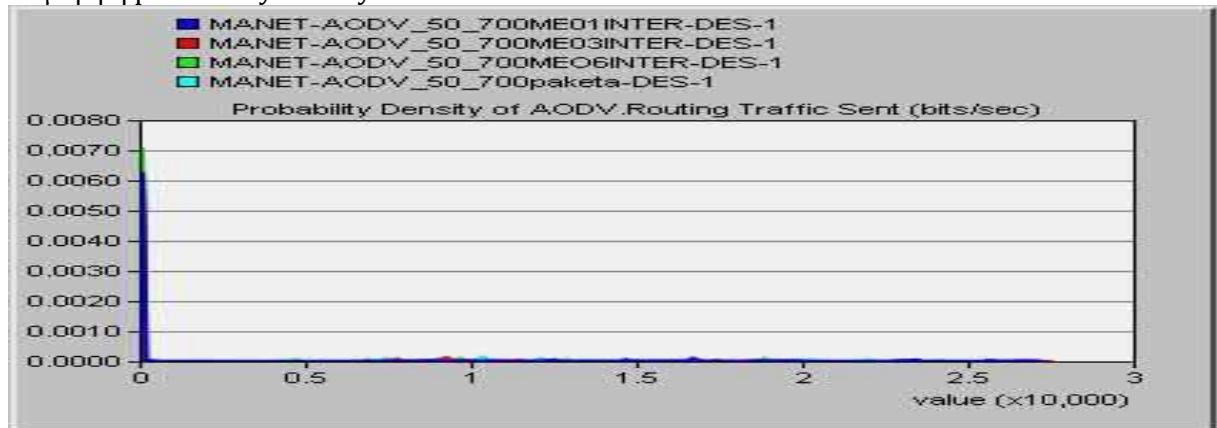
### 3.2.4 Routing Traffic Send (packets/sec και bits/sec)

Σε μορφή average





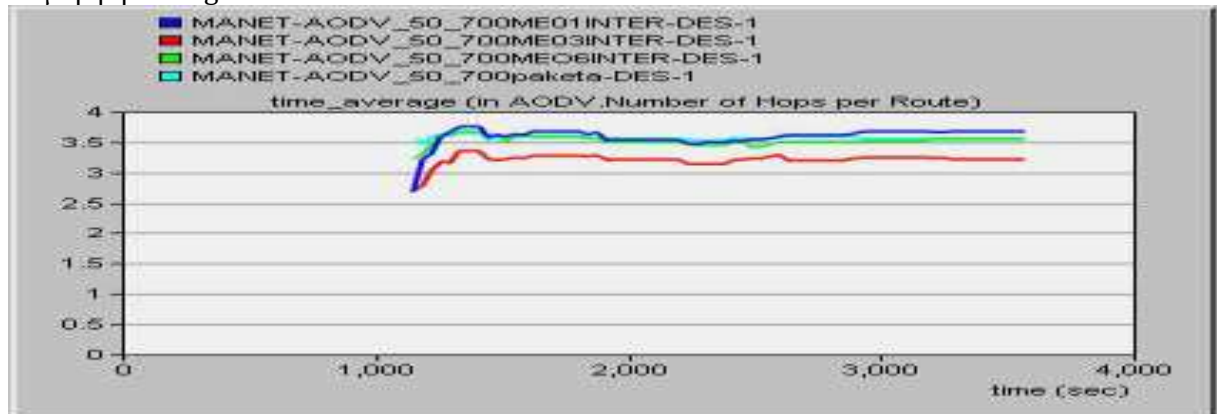
Σε μορφή probability density PDF



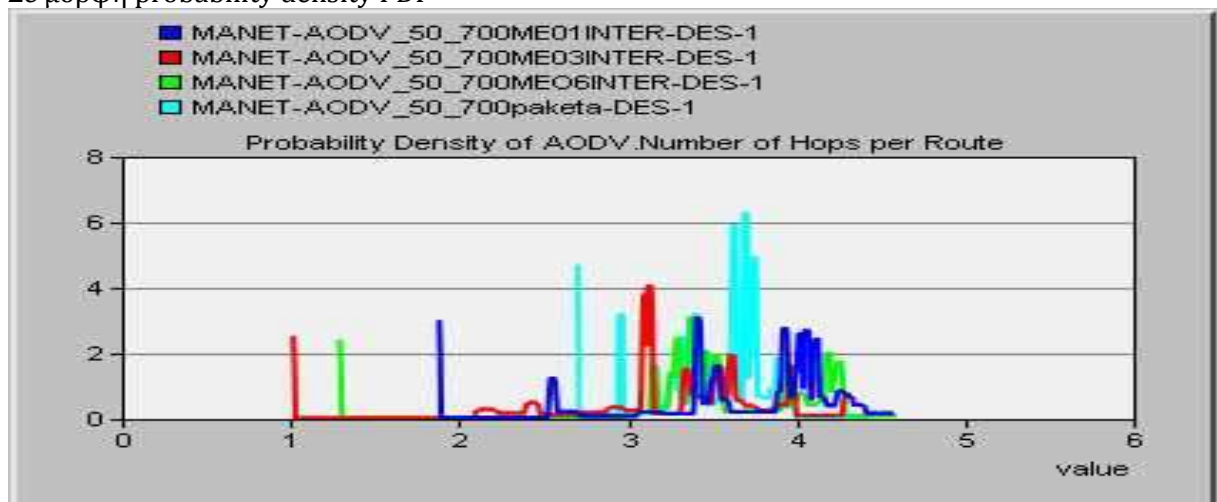
Παρατηρούμε ότι τα πακέτα με Interarrival Time 0.01 και 0.1 sec στέλνονται σε μεγαλύτερο αριθμό σχετικά με τα άλλα.

### 3.2.5 Number of Hops per Route

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF



Το Number of Hops per Route για το πακέτο με Interarrival Time 0.3 sec είναι πιο μικρό σε σχέση με τις άλλες περιπτώσεις.

### 5.3 Δεύτερο σενάριο

Στο σενάριο αυτό πάλι στέλνεται κίνηση από 10 κόμβους πάνω σε 10 κόμβους κάτω, όπου καθένας από τους παραπάνω κόμβους στέλνει πακέτα σε έξι διαφορετικούς κόμβους.

Επιλέγουμε τους παρακάτω κόμβους ως κόμβους δημιουργίας Sensor Traffic :

<u><b>Senders</b></u>	<u><b>Receivers</b></u>
➤ Ο Κόμβος 23	→ 4, 13, 21, 10, 1, 25
➤ Ο Κόμβος 50	→ 2, 7, 11, 9, 17, 20
➤ Ο Κόμβος 48	→ 7, 15, 9, 25, 12, 16
➤ Ο Κόμβος 42	→ 13, 4, 16, 24, 21, 18
➤ Ο Κόμβος 46	→ 16, 19, 3, 4, 15, 9
➤ Ο Κόμβος 31	→ 10, 5, 24, 13, 1, 18
➤ Ο Κόμβος 39	→ 6, 20, 12, 15, 24, 7
➤ Ο Κόμβος 30	→ 24, 3, 22, 17, 14, 25
➤ Ο Κόμβος 26	→ 20, 16, 1, 3, 10, 5
➤ Ο Κόμβος 33	→ 22, 17, 4, 11, 13, 2

#### 1<sup>ο</sup> μέρος

Σε κάθε σενάριο συλλέγουμε :

=> Customer Application

1. Packet Network Delay
2. Traffic Sent και Received

#### Customer Application

Σε κάθε προσομοίωση τροποποιούμε ως εξής τις παραμέτρους του Customer Task :

1)



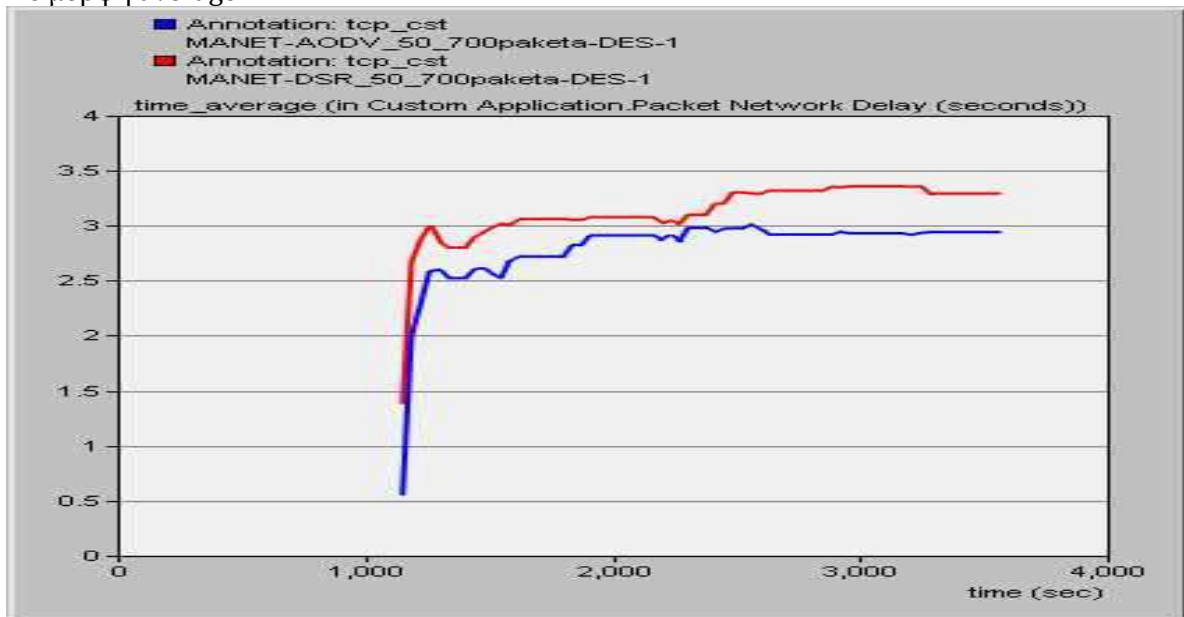
- ✓ Μέγεθος πακέτου : constant (700 bytes)
- ✓ **Inter-arrival Time : constant (0.01 second)**
- ✓ Packets per request : constant (150 )

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και συγκρίνουμε τα πρωτόκολλα δρομολόγησης AODV και DSR ως προς την επίδοσή τους .

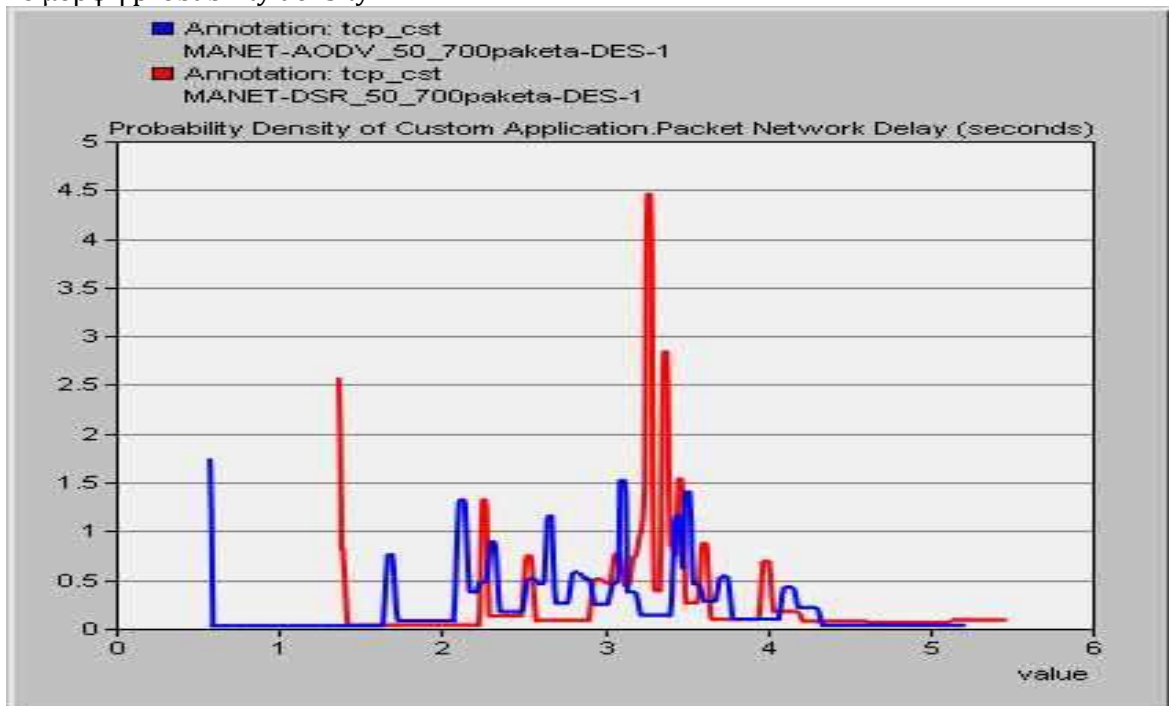
## 1. Customer Application

### 1.1 Packet Network Delay

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF

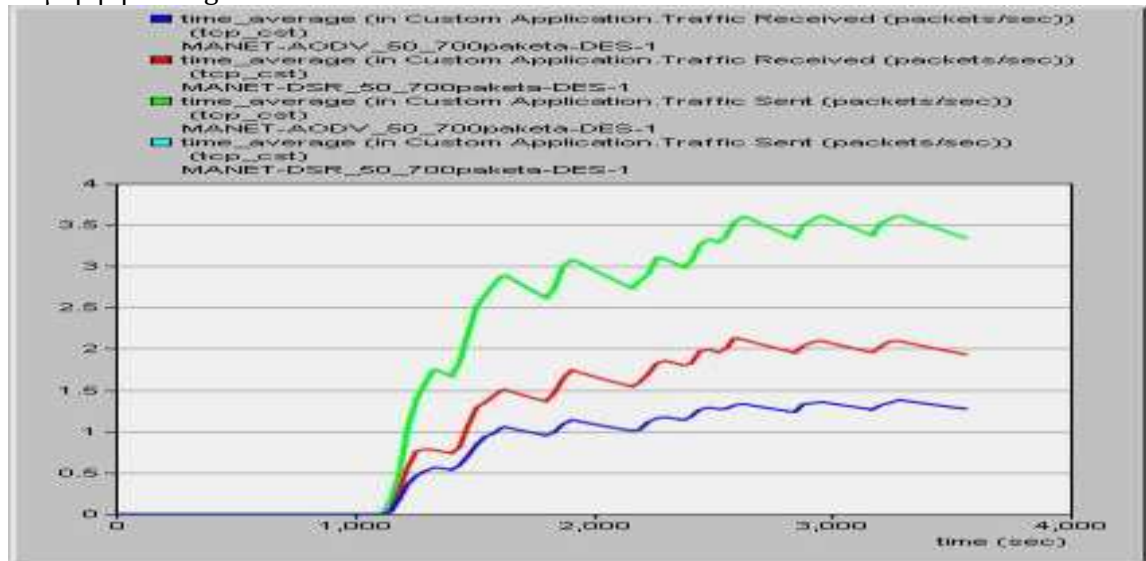


Παρατηρούμε ότι έχουμε διαφορά στην καθυστέρηση των πακέτων, όπου στο DSR εμφανίζεται μεγάλη καθυστέρηση στην δρομολόγηση σε σχέση με το AODV.

## 1.2 Όλα τα Traffic Sent και Received μαζί

Σε packets/sec :

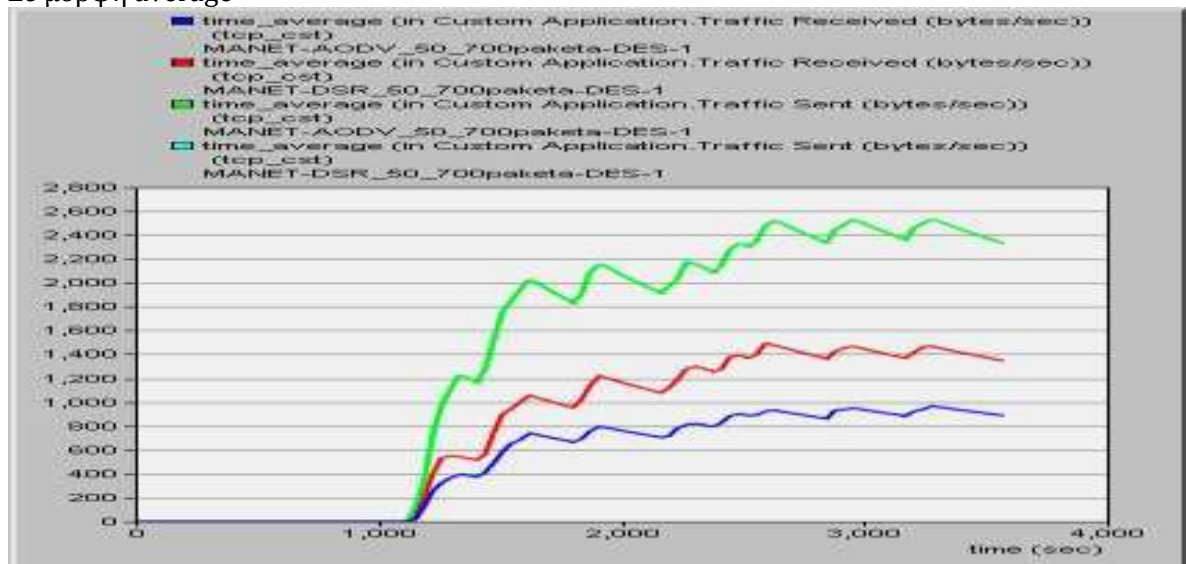
Σε μορφή average



Παρατηρούμε ότι για τον ίδιο όγκο κίνησης που εισάγεται στο δίκτυο (Traffic Send), το ποσοστό των πακέτων που λαμβάνεται με το πρωτόκολλο δρομολόγησης DSR είναι μεγαλύτερο από εκείνο του AODV, αν και είδαμε παραπάνω ότι στο DSR η καθυστέρηση των πακέτων είναι λίγο μεγαλύτερη συγκριτικά με την καθυστέρηση που έχουμε στο AODV. Επομένως, μπορούμε να πούμε ότι εμφανίζεται πολύ μεγάλη απώλεια πακέτων στο AODV κατά την δρομολόγησή τους.

Σε bytes/sec :

Σε μορφή average



Εδώ παρουσιάζουμε την λαμβανόμενη κίνηση (Traffic Received) σε μορφή bytes/sec, όπου βλέπουμε ότι κατά μέσο όρο λαμβάνονται 1390 bytes/sec στην περίπτωση του DSR, ενώ στο AODV λιγότερα.

2)

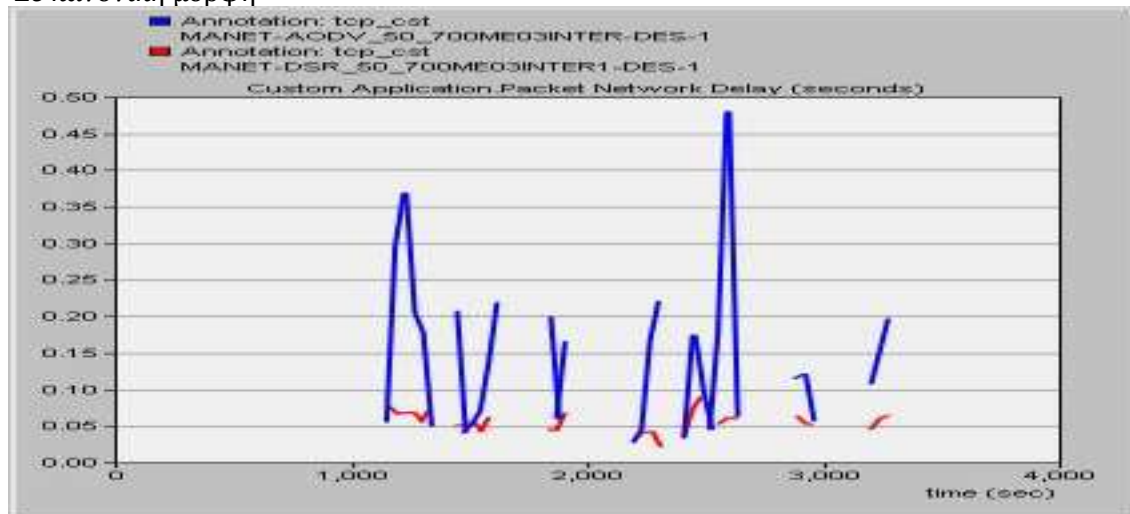


- ✓ Μέγεθος πακέτου : constant (700 bytes)
- ✓ Inter-arrival Time : constant (0.3 second)
- ✓ Packets per request : constant (150 )

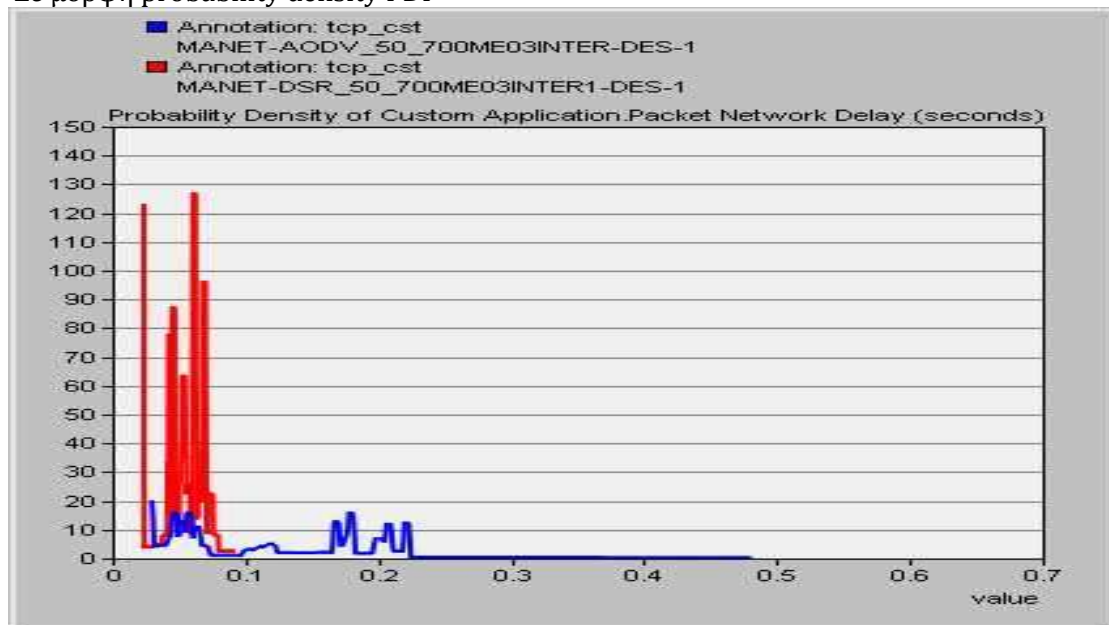
## 2. Customer Application

### 2.1 Packet Network Delay

Σε κανονική μορφή



Σε μορφή probability density PDF

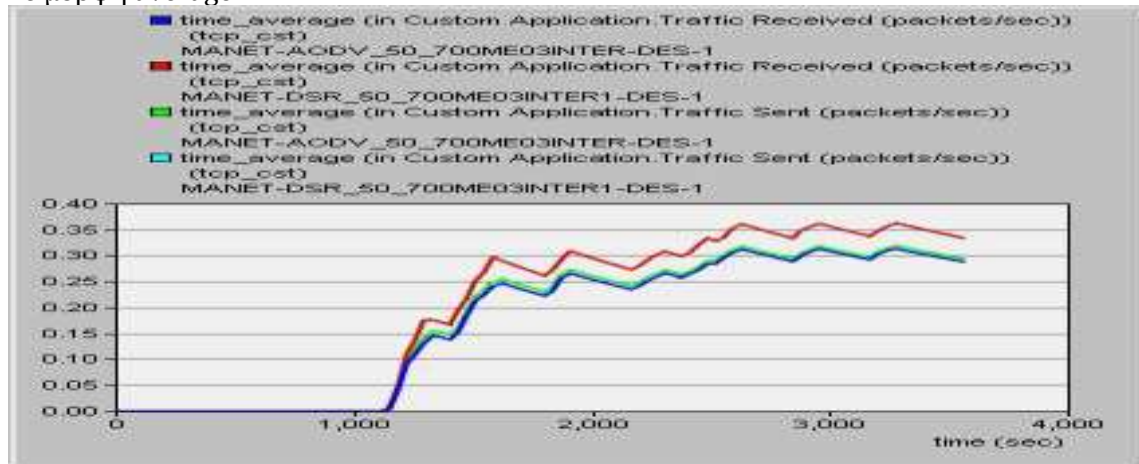


Παρατηρούμε μια διαφορά στην καθυστέρηση των πακέτων αυξάνοντας το Interarrival Time (από 0.01 σε 0.3 sec), όπου στο DSR εμφανίζεται σε αυτή την περίπτωση μικρότερη καθυστέρηση(σχεδόν σταθερή) στην δρομολόγηση σε σχέση με το AODV.

## 2.2 Όλα τα Traffic sent και Received μαζί

Σε packets/sec :

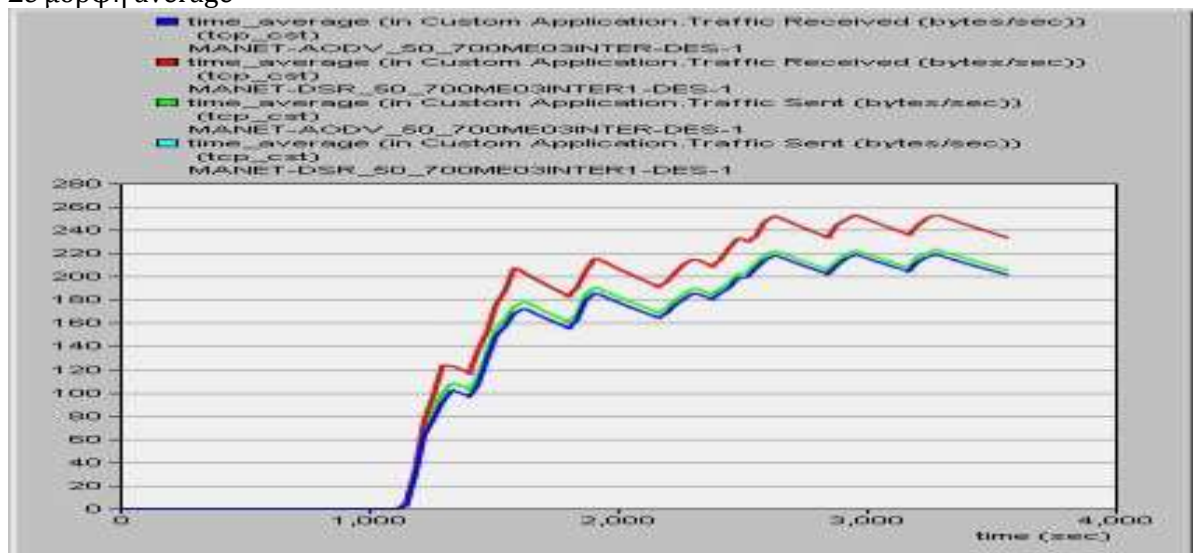
Σε μορφή average



Παρατηρούμε ότι για δύο διαφορετικούς όγκους κίνησης που εισάγονται στο δίκτυο (Traffic Send ) και αυξάνοντας το Interarrival Time(από 0.01 σε 0.3 sec), το ποσοστό των πακέτων που ελήφθη με το πρωτόκολλο δρομολόγησης DSR ήταν ίδιο με αυτό που στάλθηκε, ενώ με το AODV, αν και η κίνηση που δημιουργήθηκε ήταν μικρότερη από εκείνη με το DSR, το ποσοστό των λαμβανόμενων πακέτων διαφέρει ελάχιστα από εκείνο που στάλθηκε . Άρα, με το AODV παρατηρούμε ότι έχουμε απώλεια πακέτων.

Σε bytes/sec :

Σε μορφή average



Εδώ παρουσιάζουμε την λαμβανόμενη κίνηση (Traffic Received) σε μορφή bytes/sec, όπου παρατηρούμε ότι κατά μέσο όρο λαμβάνονται 238 bytes/sec στην περίπτωση του DSR, ενώ στο AODV λιγότερα .



3)

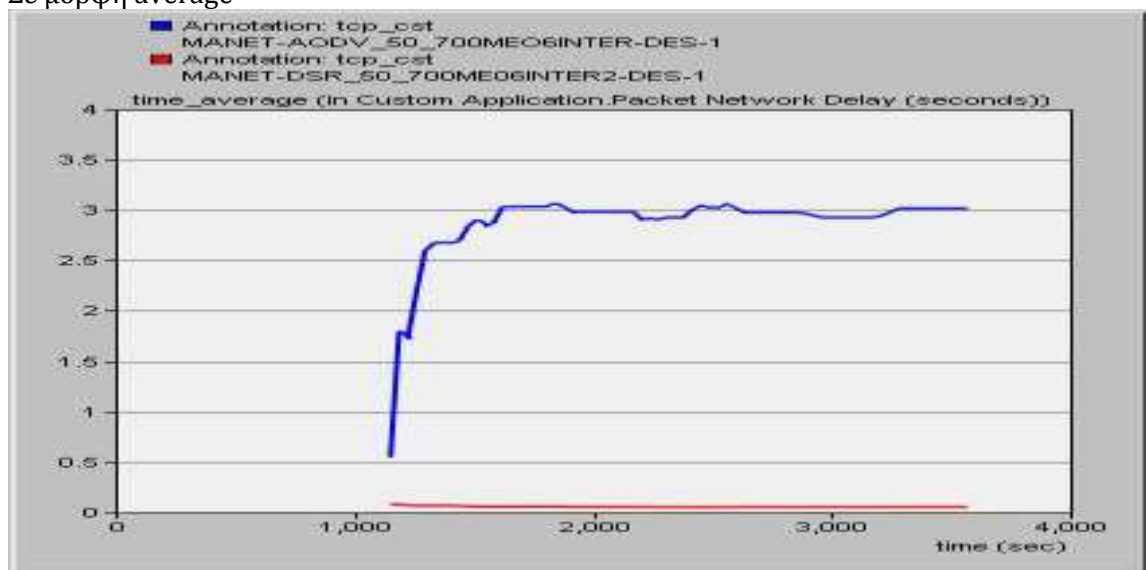


- ✓ Μέγεθος πακέτου : constant (700 bytes)
- ✓ Inter-arrival Time : constant (0.6 second)
- ✓ Packets per request : constant (150 )

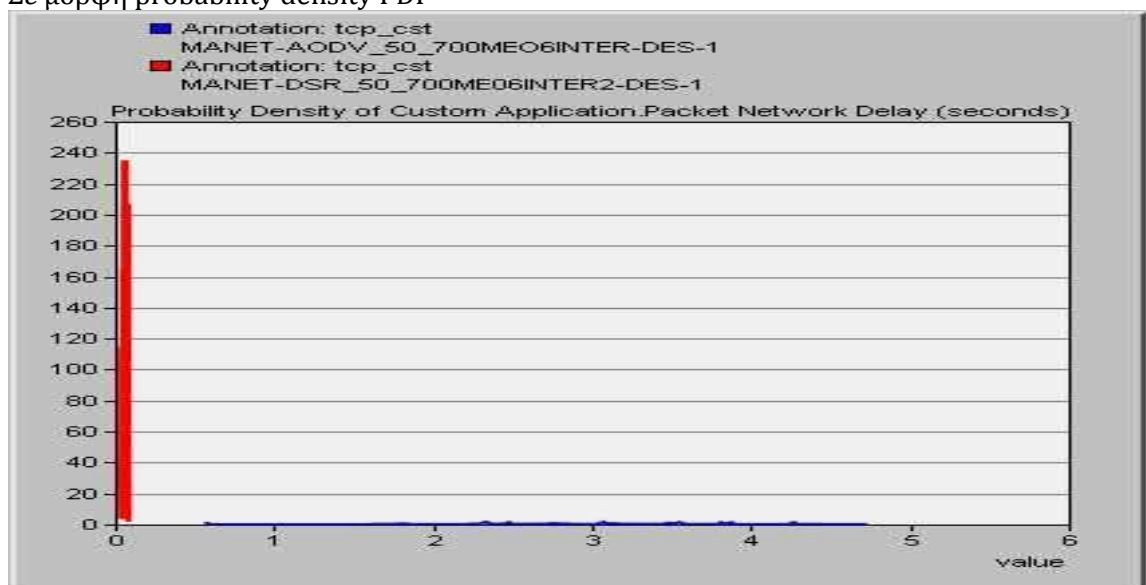
### 3. Customer Application

#### 3.1 Packet Network Delay

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF



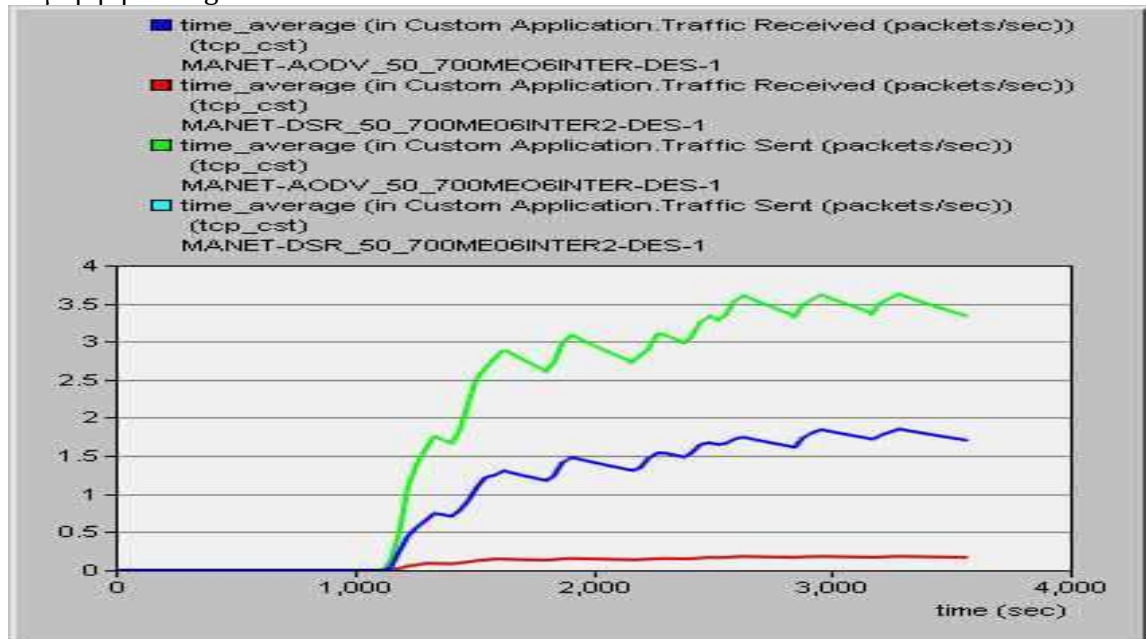
Παρατηρούμε ότι με το πρωτόκολλο DSR, η καθυστέρηση στην δρομολόγηση των πακέτων μέσα στο δίκτυο είναι πολύ μικρή και έχει μια σταθερή τιμή, ενώ στην περίπτωση του AODV εμφανίζεται πολύ μεγάλη τιμή.



### 3.2 Όλα τα Traffic sent και Received μαζί

Σε packets/sec :

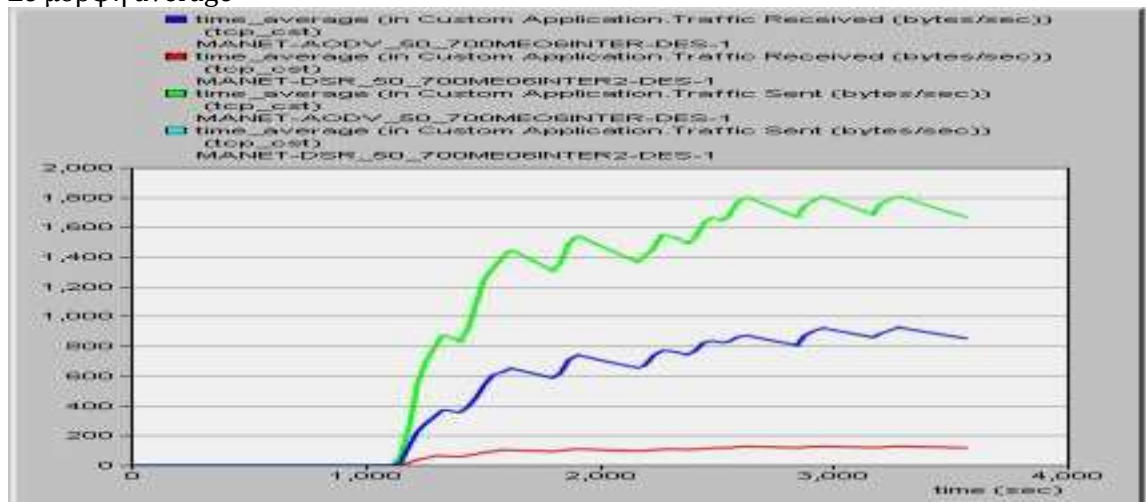
Σε μορφή average



Για δύο διαφορετικές κινήσεις που στέλνονται στο δίκτυο παρατηρούμε ότι αυξάνοντας το Interarrival Time (από 0.3 σε 0.6 sec), το ποσοστό των πακέτων που ελήφθη μέσω του πρωτοκόλλου δρομολόγησης DSR φαίνεται να είναι μικρότερο από εκείνο του AODV, ίδιο όμως με αυτό που στάλθηκε (τα λαμβανόμενα πακέτα είναι ίσα με τα σταλμένα πακέτα), σε αντίθεση με το AODV, όπου έχουμε μεγάλη κίνηση στο δίκτυο με μεγάλο ποσοστό απωλειών.

Σε bytes/sec :

Σε μορφή average



Εδώ παρουσιάζεται η λαμβανόμενη κίνηση (Traffic Received) σε μορφή bytes/sec, όπου βλέπουμε ότι κατά μέσο όρο λαμβάνονται 850 bytes/sec στην περίπτωση του AODV, ενώ στο DSR είναι πολύ λίγα.

4)

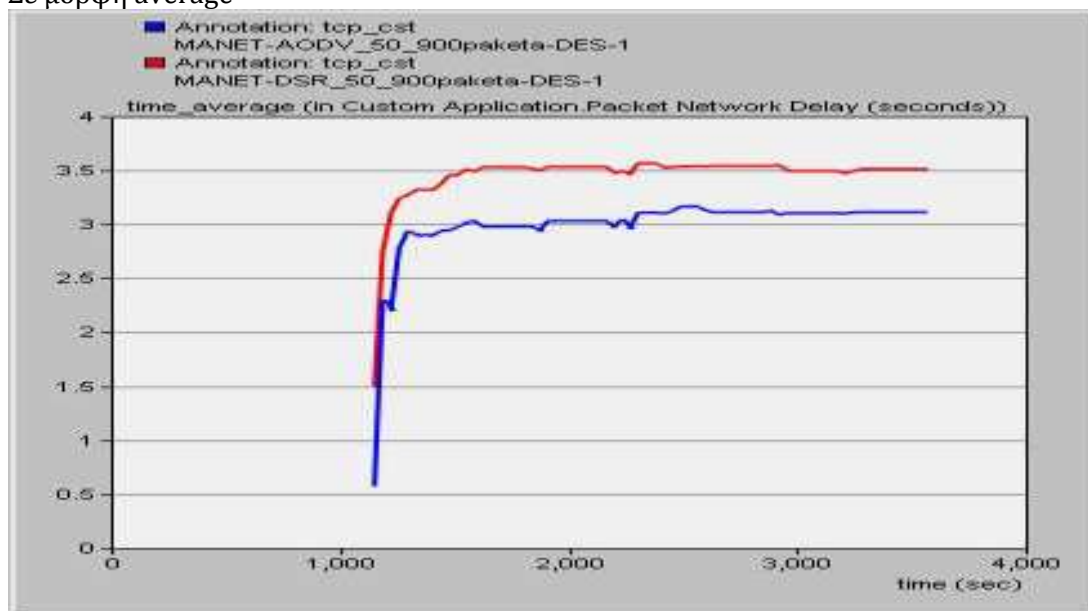


- ✓ Μέγεθος πακέτου : constant (900 bytes)
- ✓ Inter-arrival Time : constant (0.01 second)
- ✓ Packets per request : constant (150 )

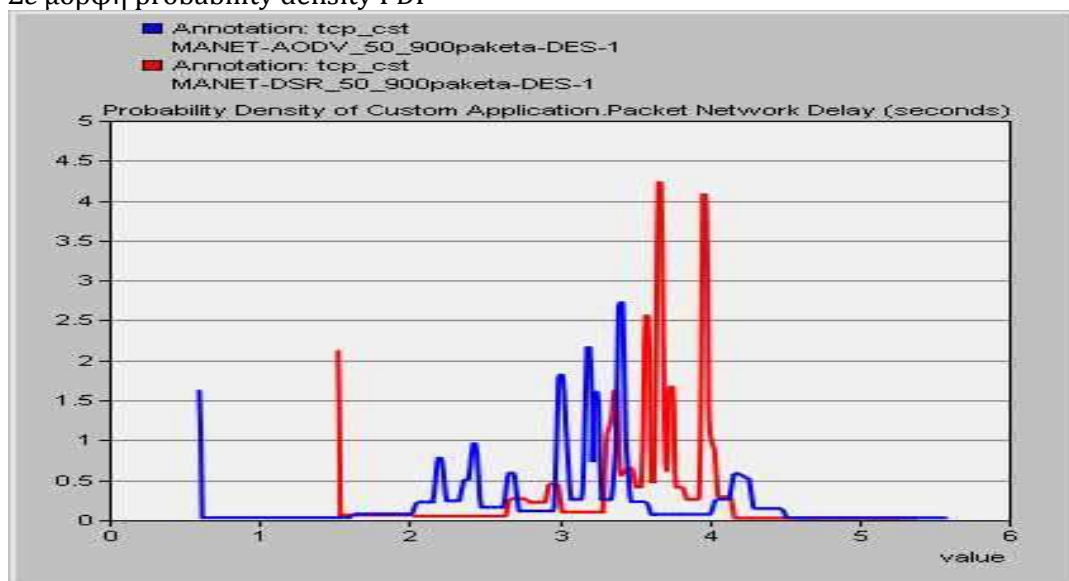
#### 4. Customer Application

##### 4.1 Packet Network Delay

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF

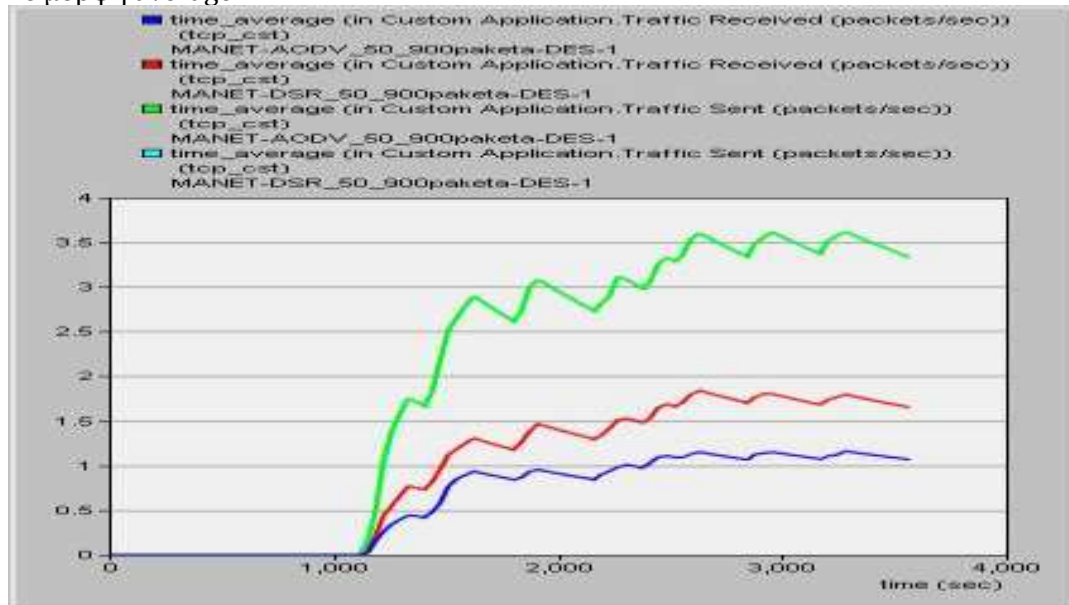


Παρατηρούμε ότι με το πρωτόκολλο DSR εμφανίζεται μεγάλη καθυστέρηση στην δρομολόγηση πακέτου, όταν το μήκος του πακέτου είναι μεγάλο.

## 4.2 Όλα τα Traffic sent και Received μαζί

Σε packets/sec :

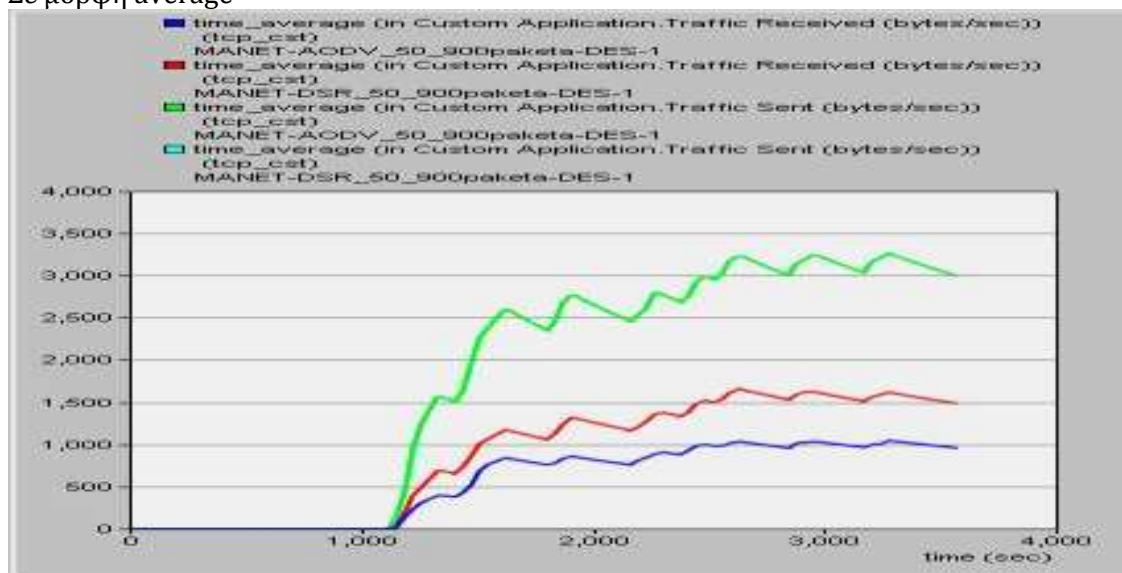
Σε μορφή average



Παρατηρούμε ότι για τον ίδιο όγκο κίνησης που εισάγεται στο δίκτυο (Traffic Send ), το ποσοστό των πακέτων που ελήφθη με το πρωτόκολλο δρομολόγησης DSR ήταν μεγαλύτερο από εκείνο του AODV, αν και είδαμε παραπάνω ότι στο DSR η καθυστέρηση των πακέτων ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με την καθυστέρηση που είχαμε στην περίπτωση του πρωτοκόλλου AODV.

Σε bytes/sec :

Σε μορφή average



Εδώ παρουσιάζουμε την λαμβανόμενη κίνηση (Traffic Received) σε μορφή bytes/sec, όπου παρατηρούμε ότι κατά μέσο όρο λαμβάνονται 1500 bytes/sec στην περίπτωση του DSR, ενώ στο AODV λιγότερα.

5)

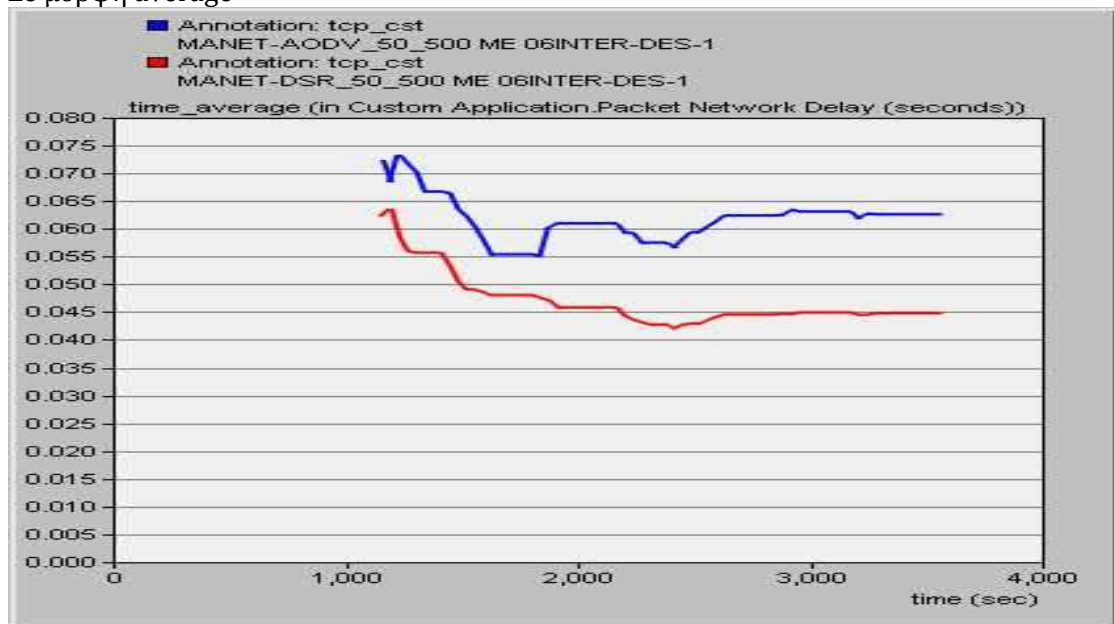


- ✓ Μέγεθος πακέτου : constant (500 bytes)
- ✓ Inter-arrival Time : constant (0.6 second)
- ✓ Packets per request : constant (150 )

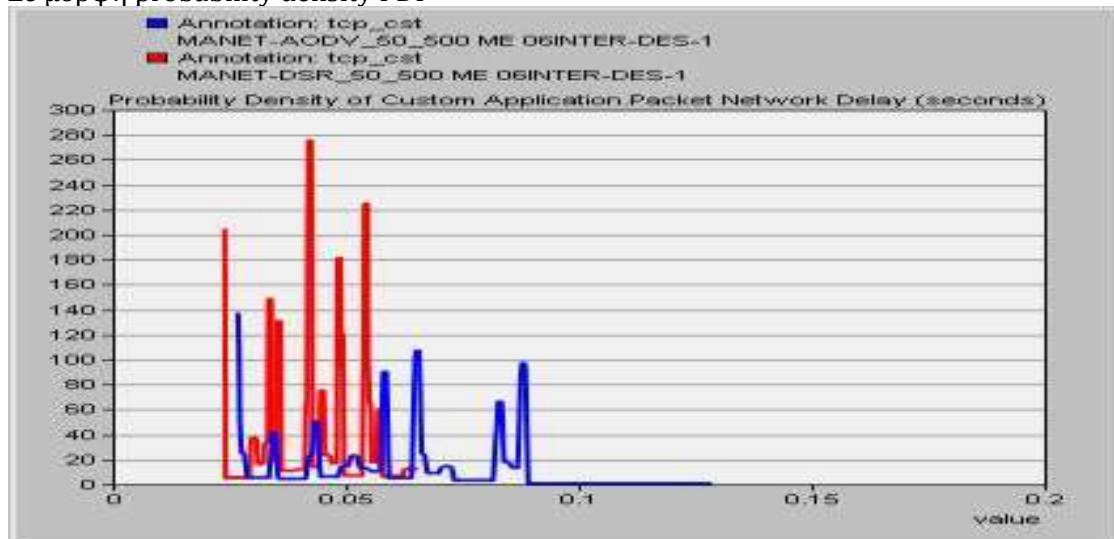
## 5. Customer Application

### 5.1 Packet Network Delay

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF

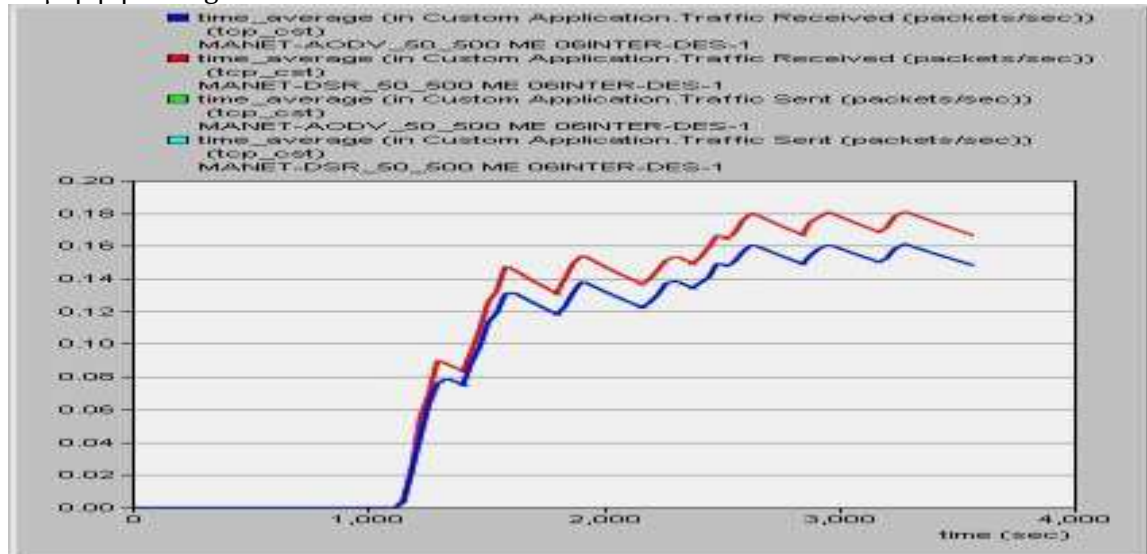


Παρατηρούμε ότι με το DSR εμφανίζεται μικρή καθυστέρηση στην δρομολόγηση για μήκος πακέτου 500 bytes με μεγαλύτερο Interarrival Time(0.6 sec).

### 5.3 Όλα τα Traffic sent και Received μαζί

Σε packets/sec :

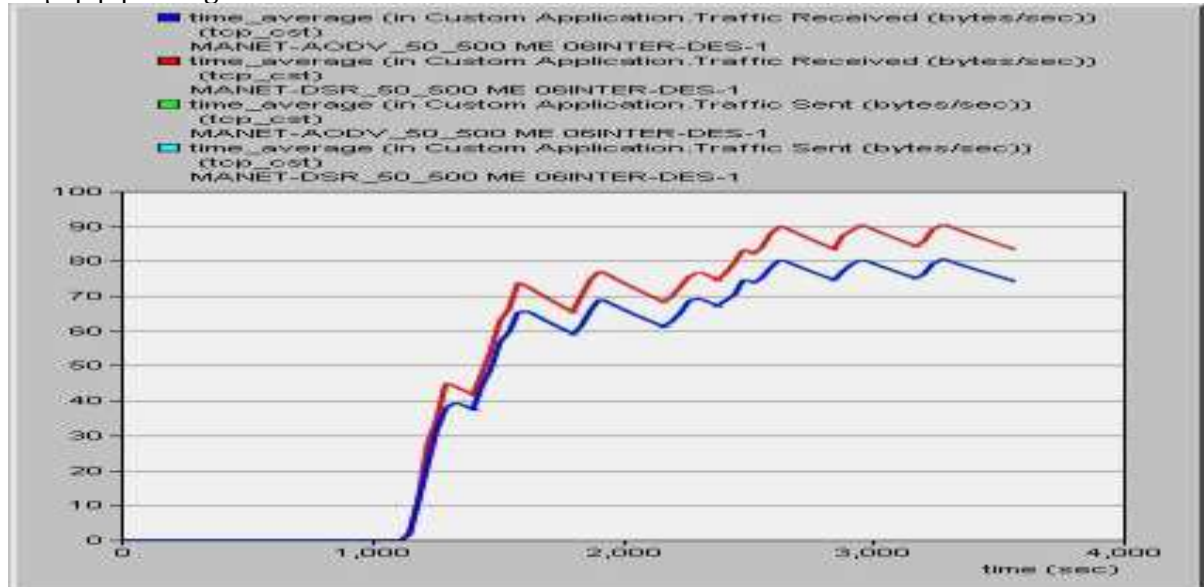
Σε μορφή average



Παρατηρούμε ότι για δύο διαφορετικούς όγκους κίνησης που εισάγονται στο δίκτυο (Traffic Send ) και για Interarrival Time ίσο με 0.6 sec το ποσοστό των πακέτων που ελήφθη με το πρωτόκολλο δρομολόγησης DSR ήταν ίδιο με αυτό που στάλθηκε. Επίσης, παρατηρούμε το ίδιο και στην περίπτωση όπου χρησιμοποιήθηκε το AODV, με μόνη διαφορά ότι με το AODV δημιουργείται λιγότερη κίνηση σε σχέση με το DSR.

Σε bytes/sec :

Σε μορφή average



Εδώ παρουσιάζεται η λαμβανόμενη κίνηση (Traffic Received) σε μορφή bytes/sec, όπου βλέπουμε ότι κατά μέσο όρο λαμβάνονται 84 bytes/sec στην περίπτωση του DSR, ενώ στο AODV λιγότερα .



## 2<sup>ο</sup> μέρος

Σύγκριση AODV KAI DSR, για κάθε περίπτωση συλλέγουμε :

1. Total Packet Dropped
2. Route Discover Time
3. Routing Traffic Sent
4. Routing Traffic Received
5. Number of hops per Route

### Σύγκριση AODV KAI DSR

Σε κάθε προσομοίωση τροποποιούμε ως εξής τις παραμέτρους του Customer Task :

1)



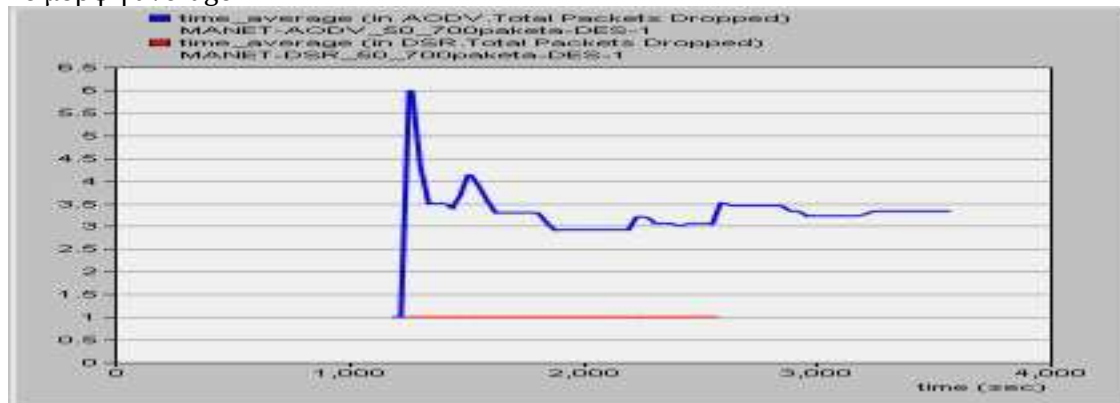
- ✓ Μέγεθος πακέτου : constant (700 bytes)
- ✓ Inter-arrival Time : constant (0.01 second)
- ✓ Packets per request : constant (150 )

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και συγκρίνουμε τα πρωτόκολλα δρομολόγησης AODV και DSR ως προς την επίδοσή τους.

#### 1.Customer Application

##### 1.1 Total packet dropped

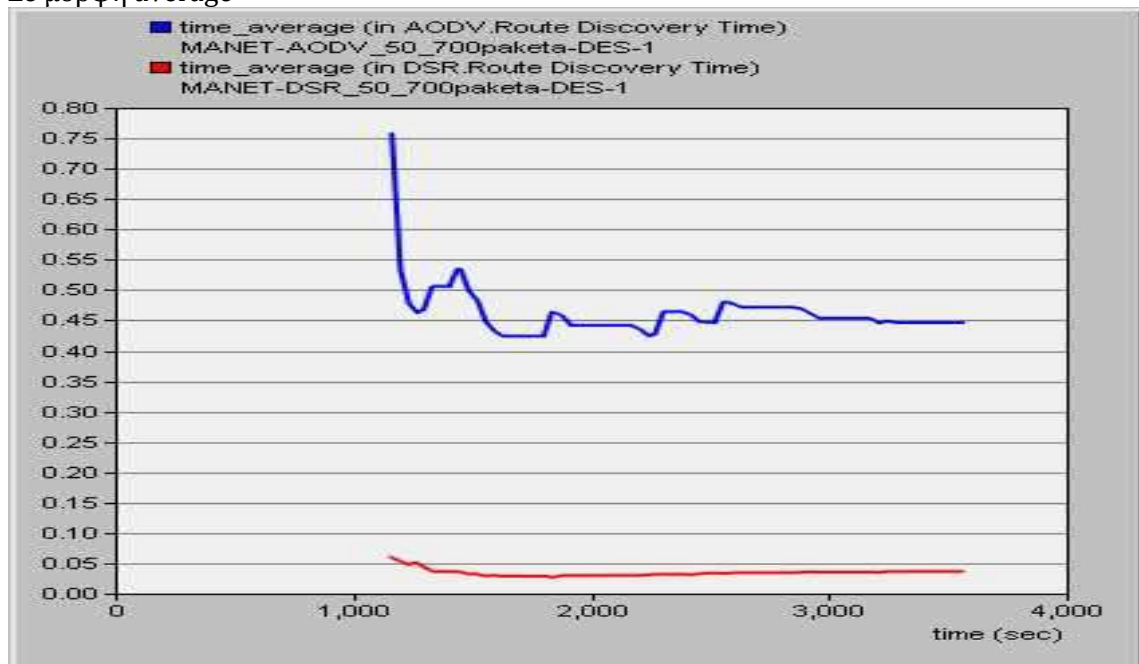
Σε μορφή average



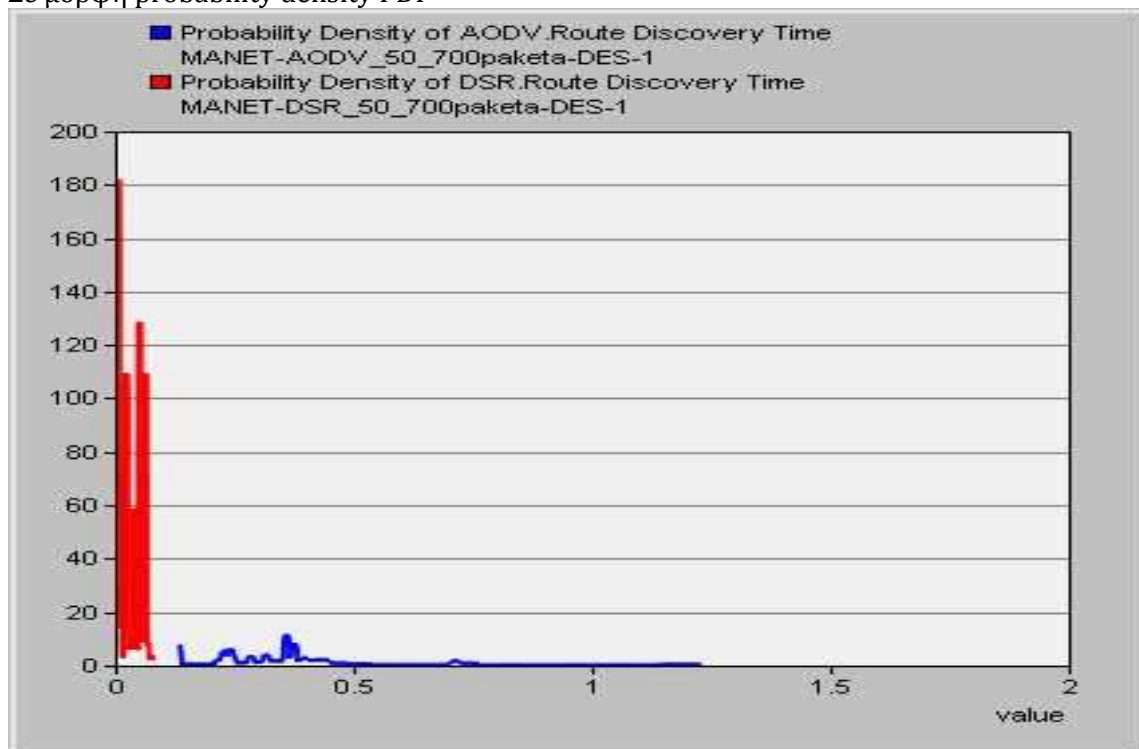
Όπως παρατηρήθηκε πιο πριν στην περίπτωση της κίνησης μέσω του Customer Application το ποσοστό των λαμβανόμενων πακέτων στο DSR ήταν μεγαλύτερο σε σχέση με το ποσοστό που είχαμε στην δρομολόγηση με το AODV. Στην παραπάνω γραφική παράσταση που απεικονίζει το προφίλ της απώλειας πακέτων παρατηρούμε ότι έχουμε σταθερή απώλεια πακέτων της τάξης της μονάδας στην περίπτωση του DSR, ενώ στο AODV αυτή είναι μεταβλητή και κυμαίνεται γύρω στα 3.4. Από το παραπάνω, μπορούμε να πούμε ότι σε αυτό το γεγονός εντοπίζεται ο λόγος για τον οποίον έχουμε λιγότερα λαμβανόμενα πακέτα στην περίπτωση δρομολόγησης με το πρωτόκολλο AODV.

## 1.2 Route discovery time

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF



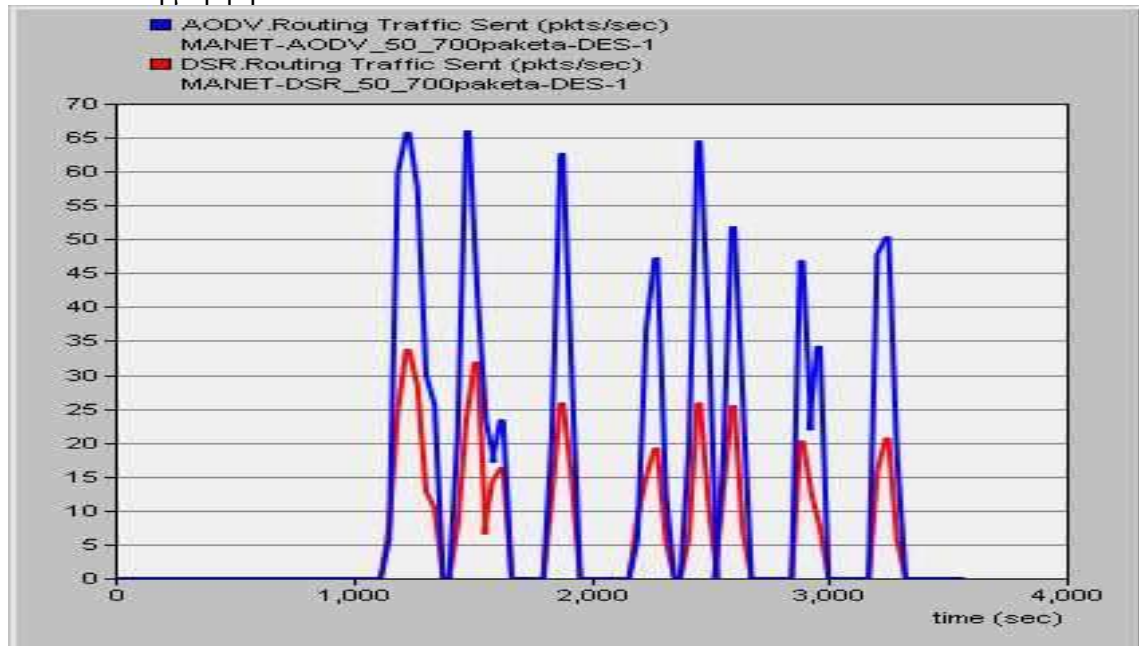
Παρατηρούμε ότι στο AODV ανακαλύπτονται γρηγορότερα οι διαδρομές δρομολόγησης σε σύγκριση με το DSR. Αυτό δικαιολογεί και την μεγαλύτερη καθυστέρηση δρομολόγησης πακέτου που έχουμε στο DSR.



### 1.3 Routing Traffic sent

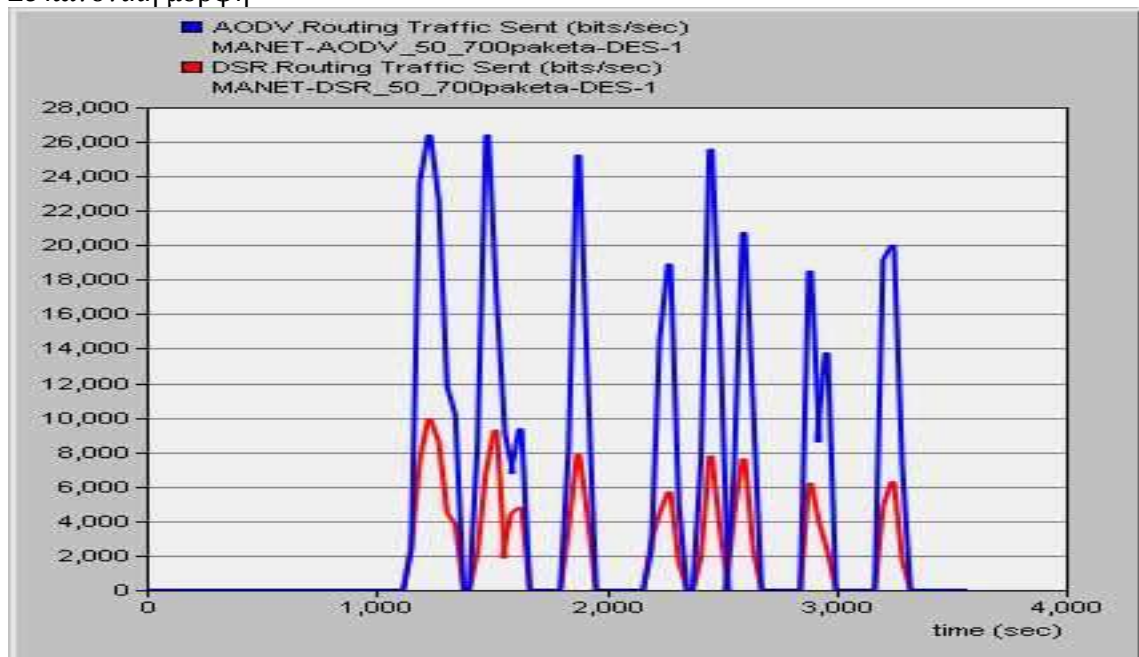
Σε packets/sec :

Σε κανονική μορφή



Σε bits/sec :

Σε κανονική μορφή

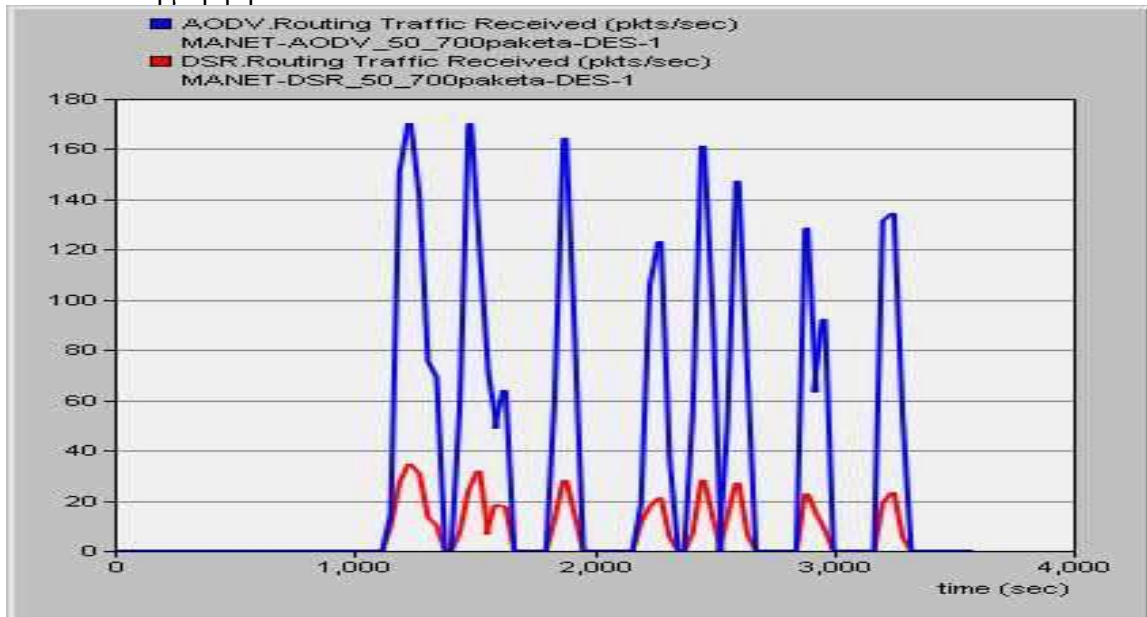


Με το AODV δημιουργείται μεγαλύτερη κίνηση μέσα στο δίκτυο, κάτι το οποίο μπορεί να προκαλέσει συμφόρηση δικτύου και να έχει ως αποτέλεσμα την μεγάλη απώλεια πακέτων.

#### 1.4 Routing Traffic Received

Σε packets/sec :

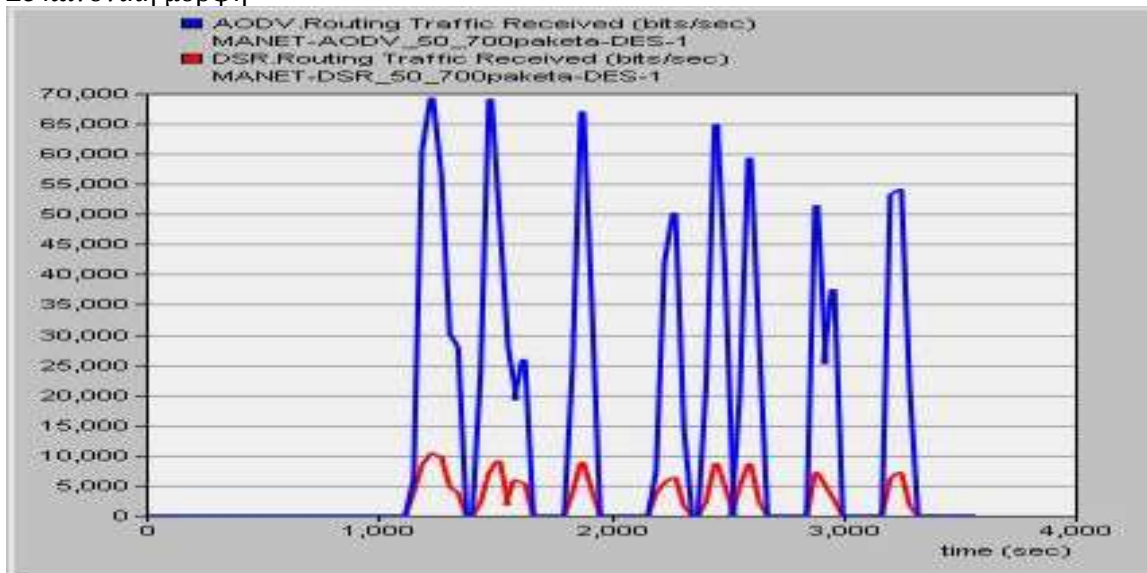
Σε κανονική μορφή



Στην περίπτωση του DSR βλέπουμε ότι η κίνηση που στέλνεται (Traffic Send) ταυτίζεται με την κίνηση που λαμβάνεται (Traffic Received), ενώ στο AODV, λόγω της μεγαλύτερης κίνησης που δημιουργείται και επισημαίνοντας ότι ένας παραλήπτης μπορεί να λαμβάνει πακέτα από περισσότερους από έναν αποστολείς (πολλαπλές λήψεις), εμφανίζεται μεγαλύτερος αριθμός λαμβανόμενων πακέτων.

Σε bits/sec :

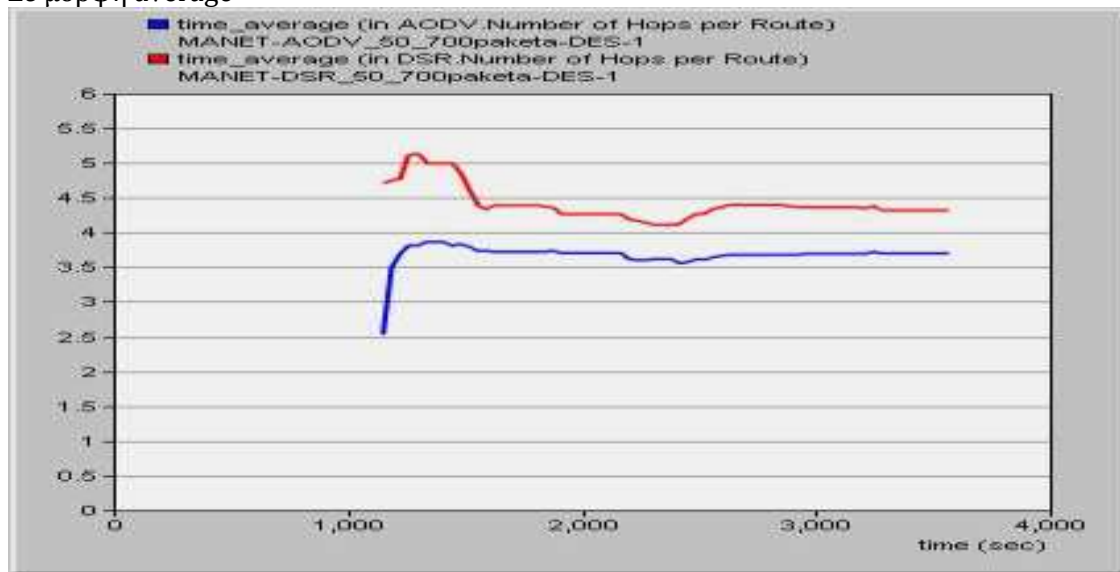
Σε κανονική μορφή



Βλέπουμε πάλι τα ίδια αποτελέσματα στο πάνω σχήμα σε μορφή bits/sec, όπου στο AODV παρατηρούμε μια αύξηση των λαμβανόμενων bits σε σχέση με τα bits που δημιουργούνται προς αποστολή.

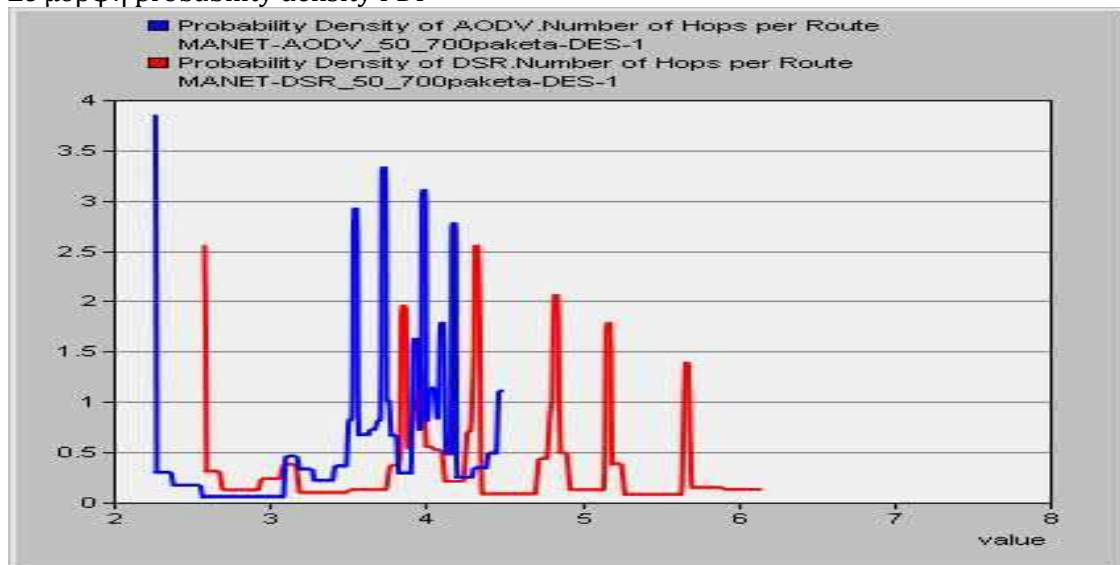
### 1.5 Number of hops per route

Σε μορφή average



Παραπάνω είδαμε ότι με το AODV, η ανακάλυψη των διαδρομών γινόταν πιο γρήγορα σε σχέση με το DSR. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί με βάση το παραπάνω γράφημα, όπου παρατηρούμε το μικρότερο αριθμό των κόμβων απ' όπου περνάνε όλα τα πακέτα του AODV για να φτάσουν στον προορισμό τους.

Σε μορφή probability density PDF



Από το γράφημα της συνάρτησης κατανομής πιθανοτήτων, μπορούμε να επιβεβαιώσουμε ότι στην περίπτωση του AODV έχουμε μια συγκεντρωμένη συνάρτηση γύρω από ένα μικρό εύρος τιμών, ενώ έχουμε μια πιο απλωμένη συνάρτηση με μεγαλύτερο εύρος τιμών στο DSR.

2)

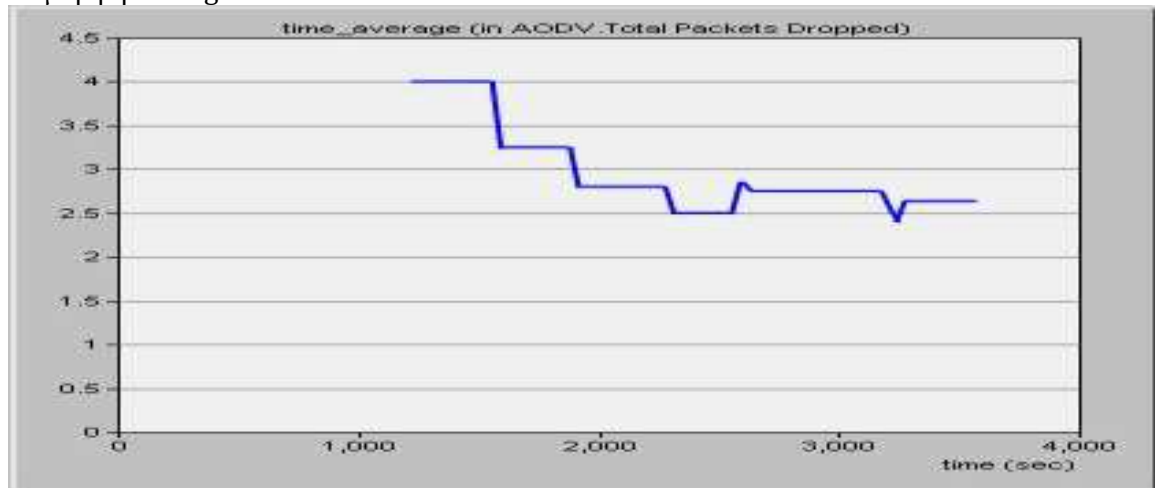


- ✓ Μέγεθος πακέτου : constant (700 bytes)
- ✓ **Inter-arrival Time : constant (0.3 second)**
- ✓ Packets per request : constant (150 )

## 2. Customer Application

### 1.1 Total packet dropped

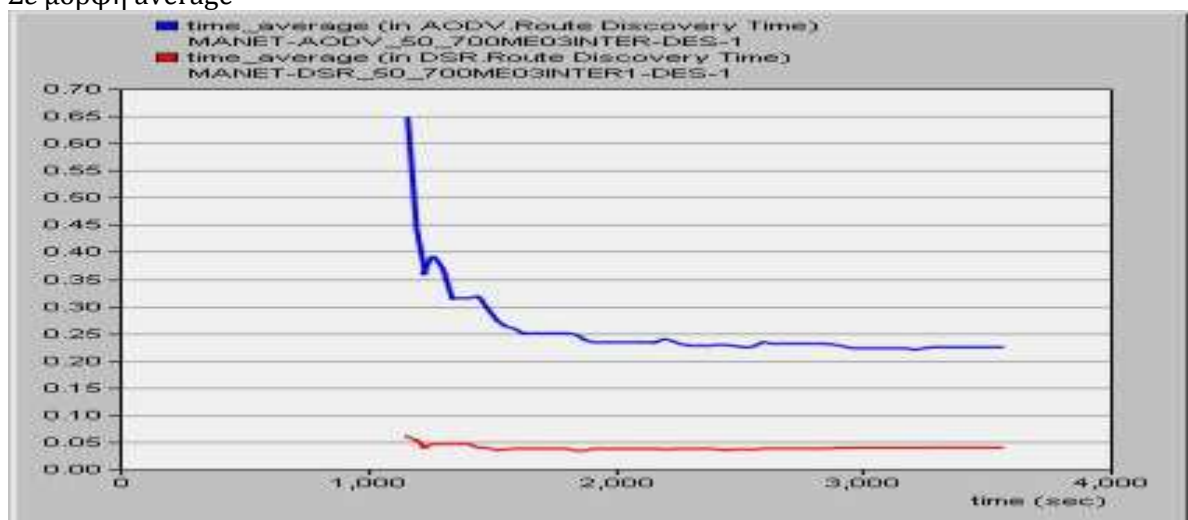
Σε μορφή average



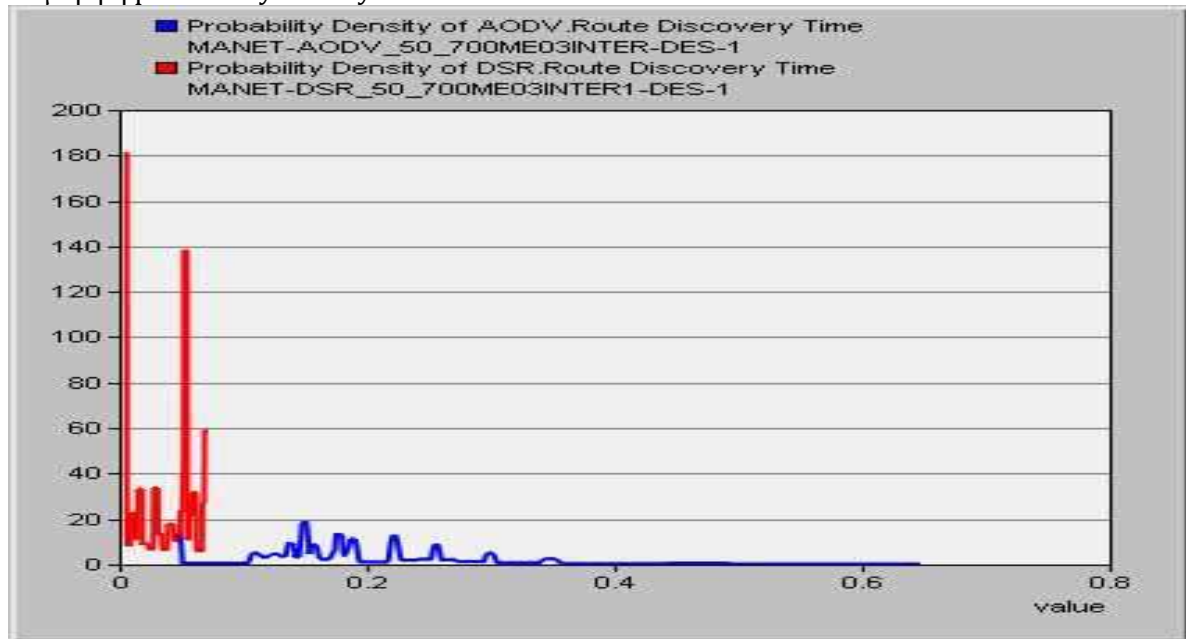
Στο πάνω σχήμα, όπου απεικονίζεται το προφίλ της απώλειας πακέτων, παρατηρούμε ότι δεν έχουμε απώλεια στην περίπτωση του DSR και γι' αυτό το λόγο δεν εμφανίζεται τίποτα στην γραφική σχετικά με το DSR.

### 2.2 Route discovery time

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF

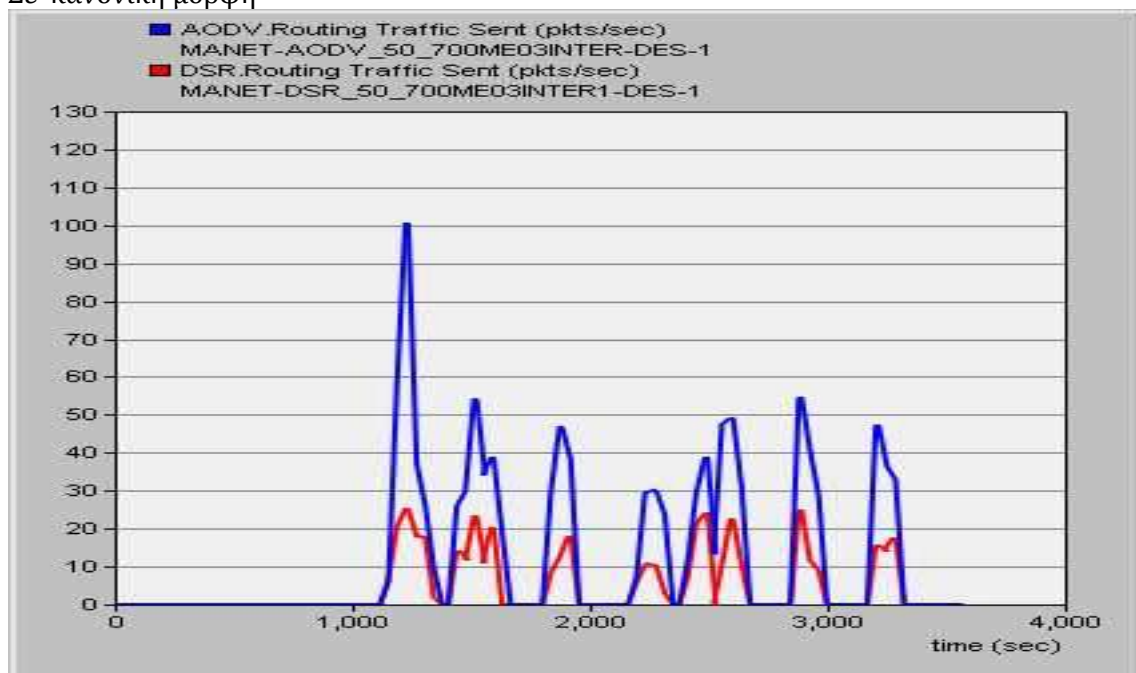


Παρατηρούμε ότι στο DSR, η ανακάλυψη των διαδρομών δρομολόγησης γίνεται πιο γρήγορα σε σύγκριση με το AODV, λόγω του μικρότερου Routing Discovery Time που έχει. Αυτό δικαιολογεί και την μεγαλύτερη καθυστέρηση δρομολόγησης πακέτου που εμφανίζεται στην περίπτωση του AODV.

### 2.3 Routing Traffic sent

Σε packets/sec :

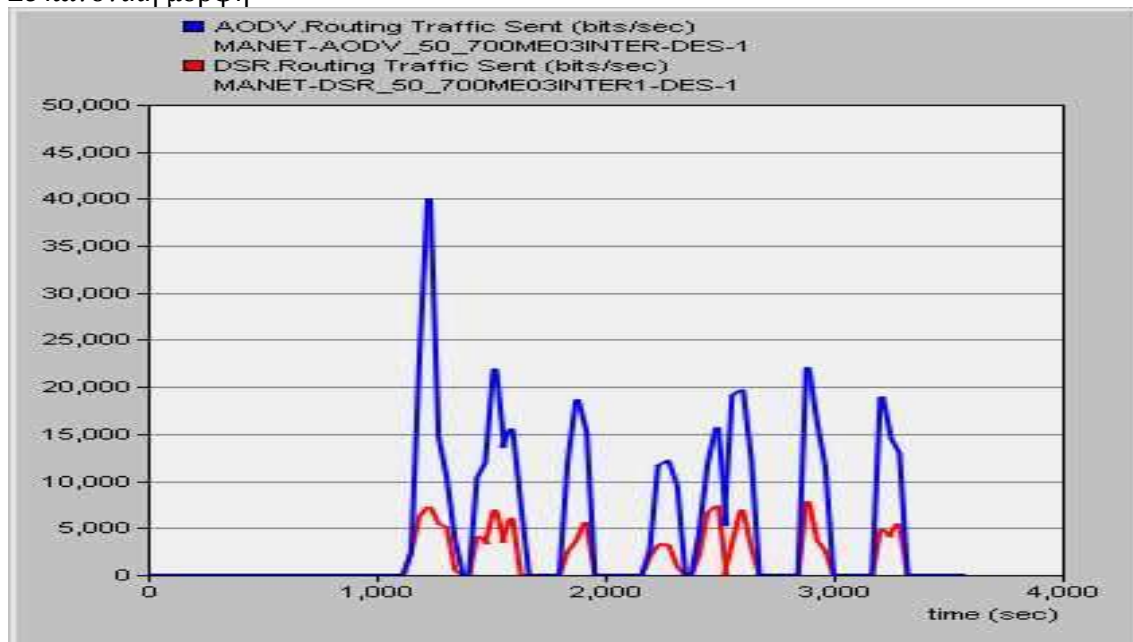
Σε κανονική μορφή





Σε bits/sec :

Σε κανονική μορφή

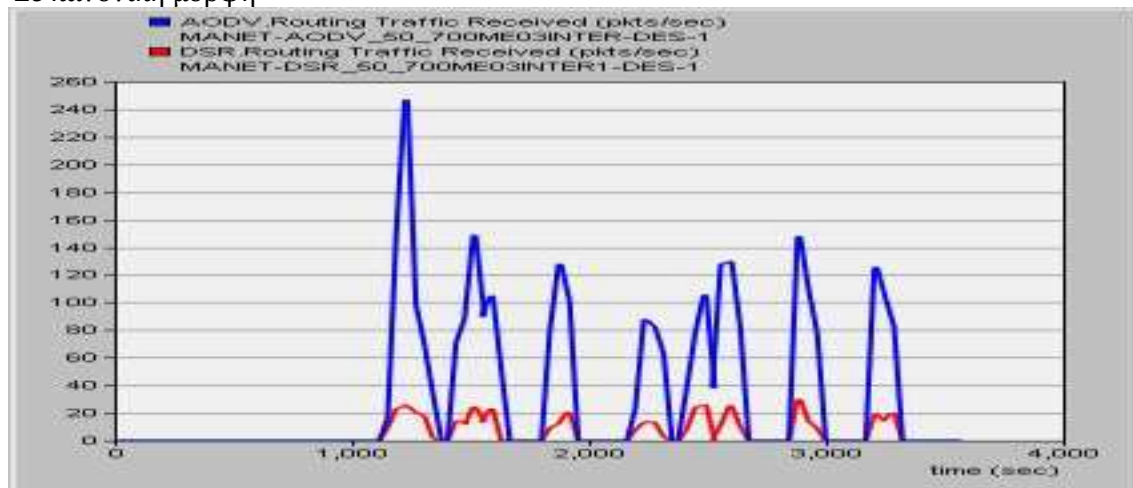


Μπορούμε να παρατηρήσουμε στο πάνω σχήμα ότι με το AODV δημιουργείται μεγαλύτερη κίνηση μέσα στο δίκτυο σε σχέση με το DSR.

#### 2.4 Routing Traffic Received

Σε packets/sec :

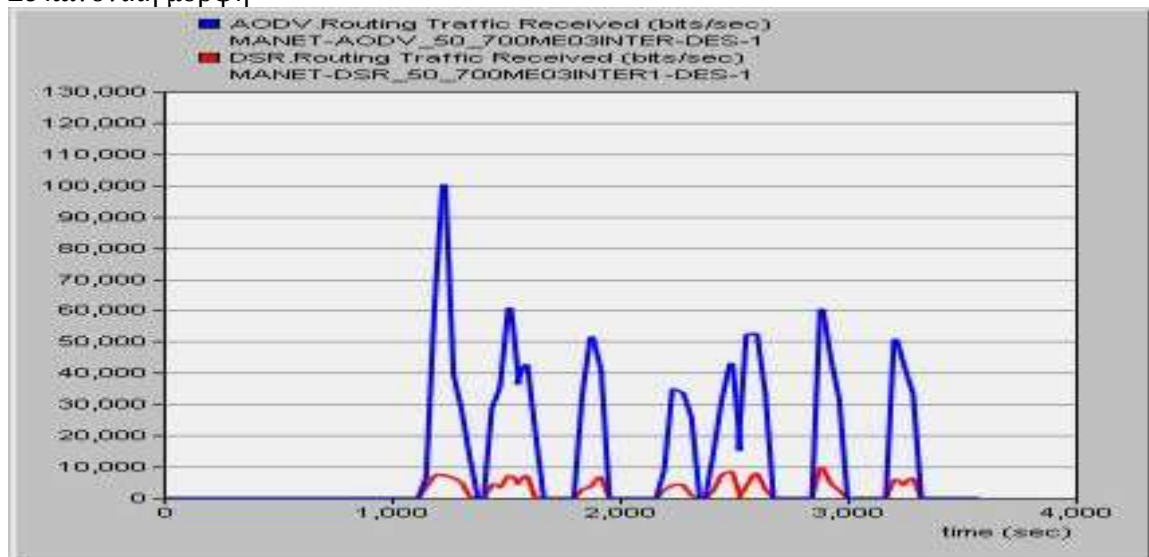
Σε κανονική μορφή



Στην περίπτωση του DSR φαίνεται ότι η κίνηση που στέλνεται (Traffic Send) ταυτίζεται με εκείνη που λαμβάνεται (Traffic Received), ενώ στο AODV, λόγω της μεγαλύτερης κίνησης που δημιουργεί, εμφανίζεται μεγαλύτερος αριθμός λαμβανόμενων πακέτων.

Σε bits/sec :

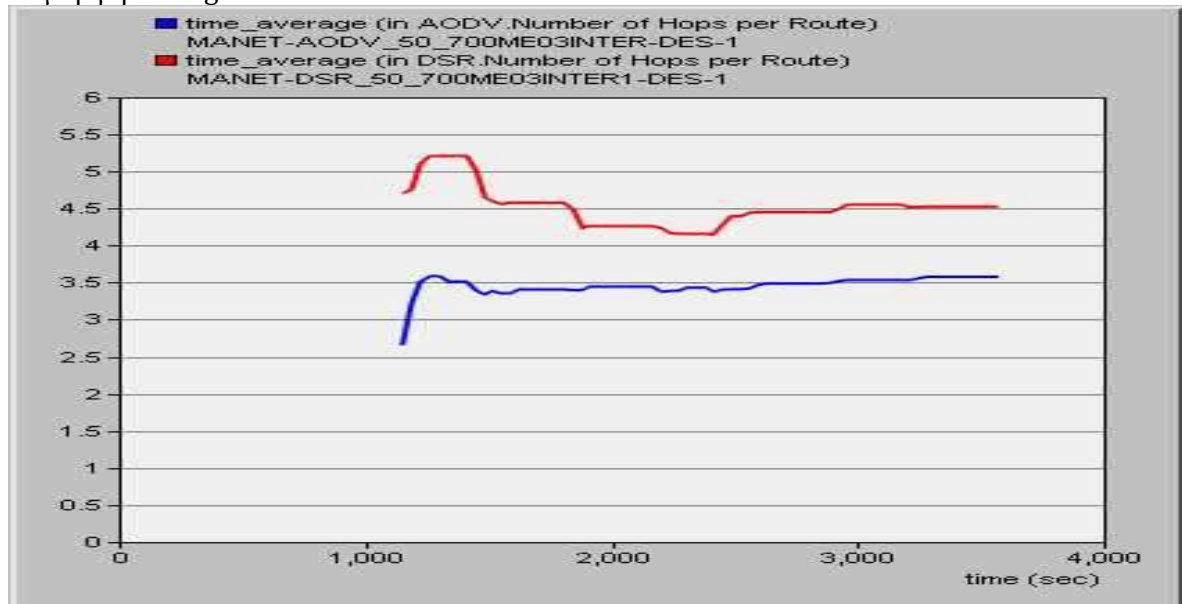
Σε κανονική μορφή



Βλέπουμε πάλι τα ίδια αποτελέσματα σε μορφή bits/sec, όπου στο AODV παρατηρούμε μια αύξηση των λαμβανόμενων bits σε σχέση με τα bits που δημιουργήθηκαν προς αποστολή.

## 2.5 Number of hops per route

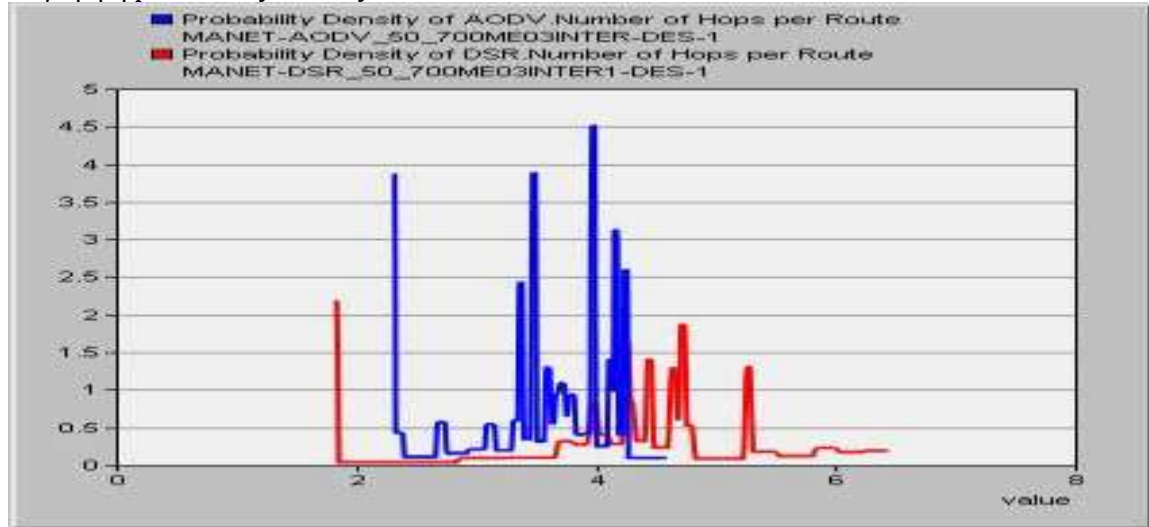
Σε μορφή average



Στο παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι στην περίπτωση δρομολόγησης με το AODV, τα σταλμένα πακέτα κάνουν μικρότερα βήματα (hops) για να φτάσουν στον παραλήπτη.



Σε μορφή probability density PDF



Από το γράφημα της κατανομής πιθανοτήτων, μπορούμε να επιβεβαιώσουμε ότι στην περίπτωση του AODV έχουμε μια συγκεντρωμένη συνάρτηση πιθανότητας, ενώ για το DSR έχουμε μια πιο απλωμένη συνάρτηση με μεγαλύτερο εύρος τιμών.

3)

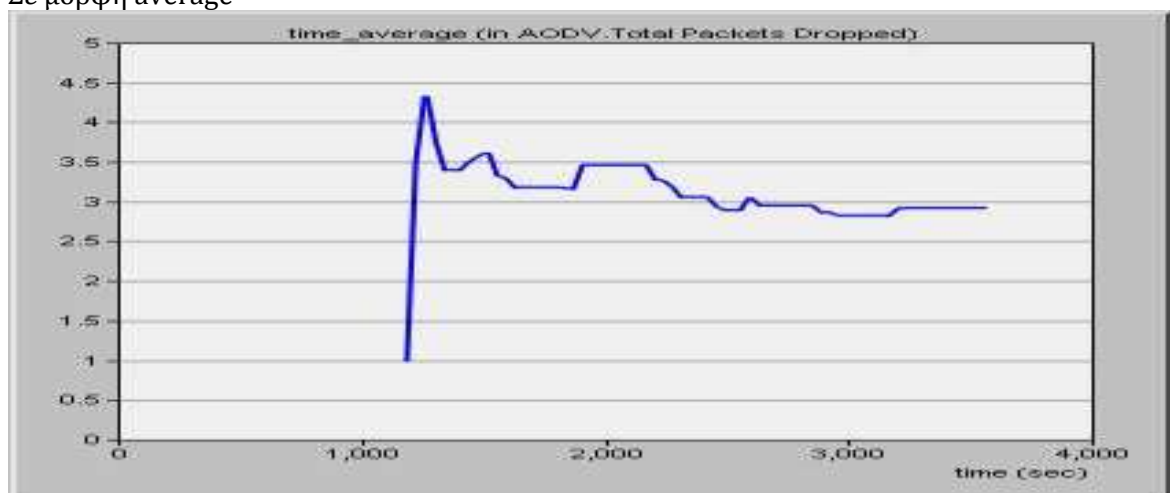


- ✓ Μέγεθος πακέτου : constant (700 bytes)
- ✓ **Inter-arrival Time : constant (0.6 second)**
- ✓ Packets per request : constant (150 )

## 2. Customer Application

### 2.1 Total packet dropped

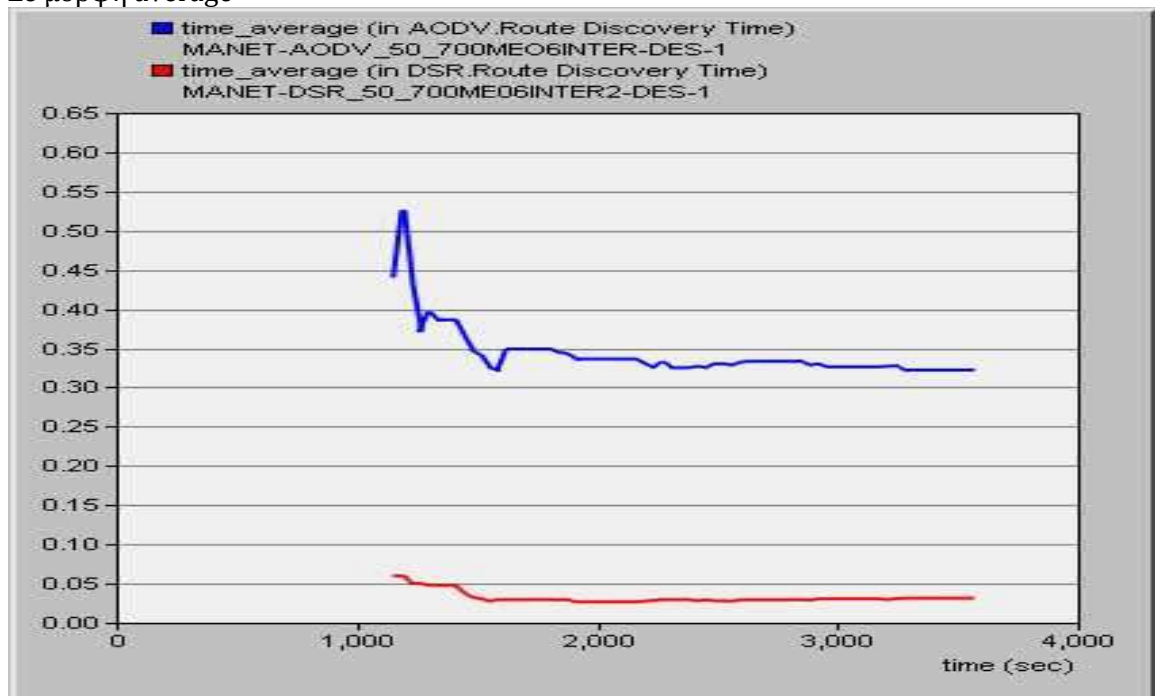
Σε μορφή average



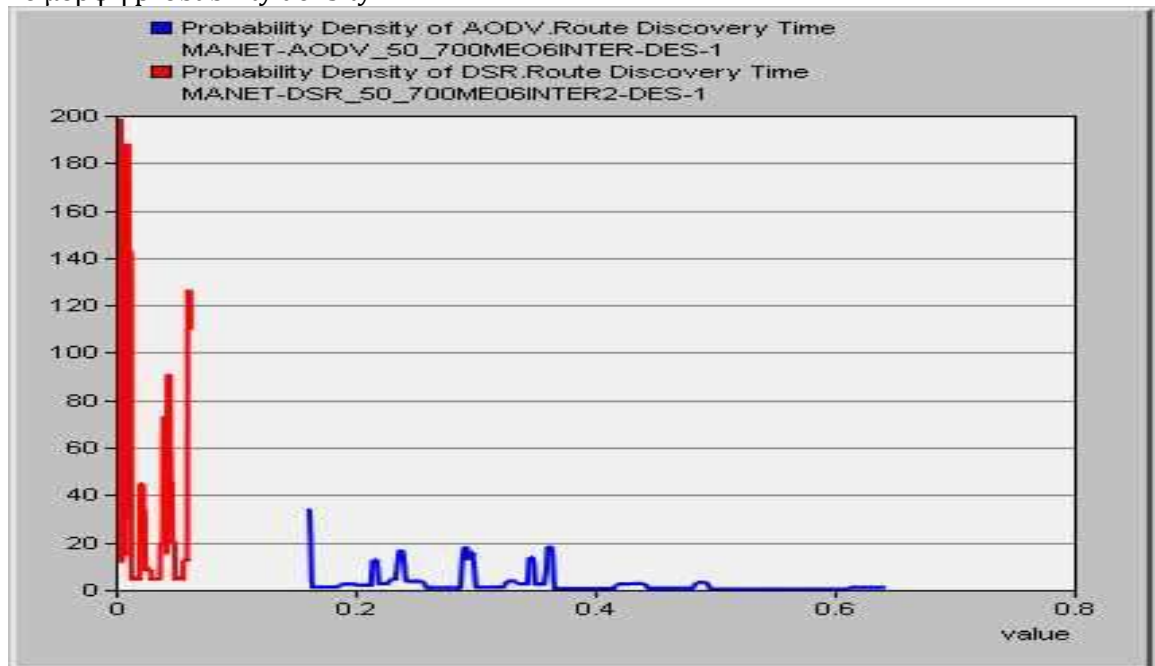
Όπως φαίνεται στην παραπάνω γραφική δεν έχουμε απώλεια πακέτων στο DSR για μεγάλη τιμή του Interarrival Time, ενώ στο AODV παρατηρούμε ότι χάθηκαν πακέτα (κατά μέσο όρο χάνονται περίπου 2.9 packets/sec).

### 3.2 Route discovery time

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF

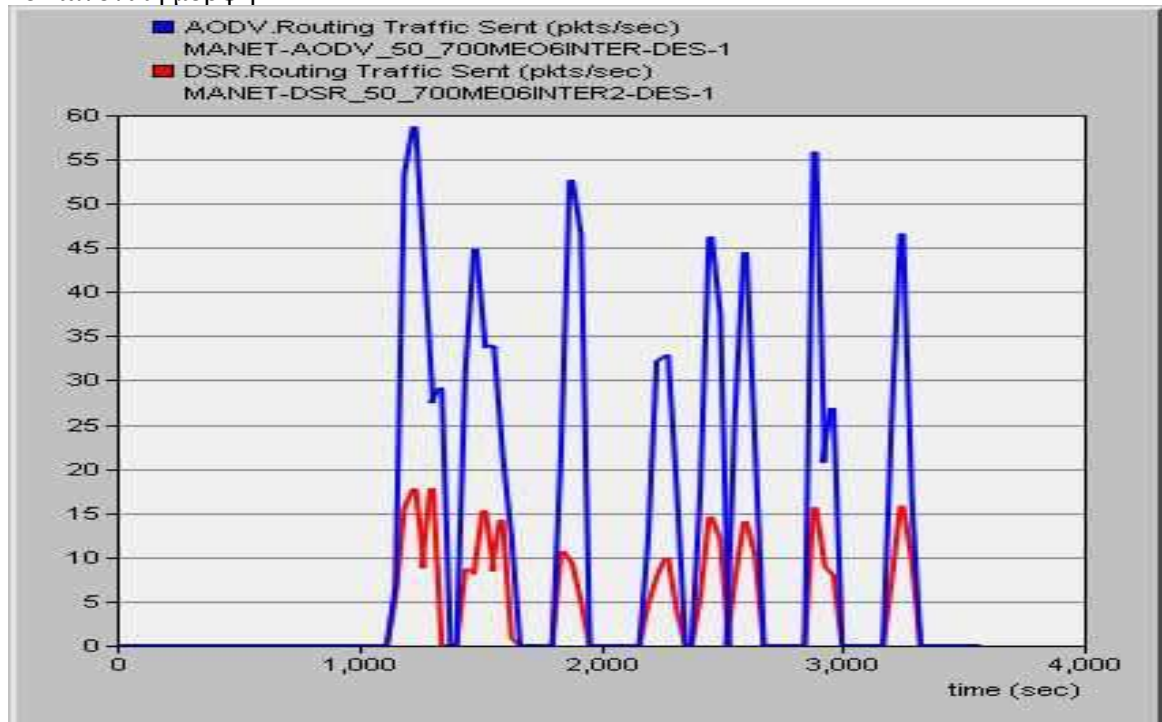


Επειδή είδαμε παραπάνω ότι η καθυστέρηση κατά την δρομολόγηση των πακέτων μέσα στο δίκτυο στην περίπτωση του πρωτοκόλλου DSR ήταν μικρότερη και σταθερή, μπορούμε να πούμε ότι στο γεγονός αυτό οφείλεται η γρηγορότερη διαδικασία ανακάλυψης της διαδρομής(μικρό Route Discovery Time) του πρωτοκόλλου DSR σε σχέση με το AODV.

### 3.3 Routing Traffic sent

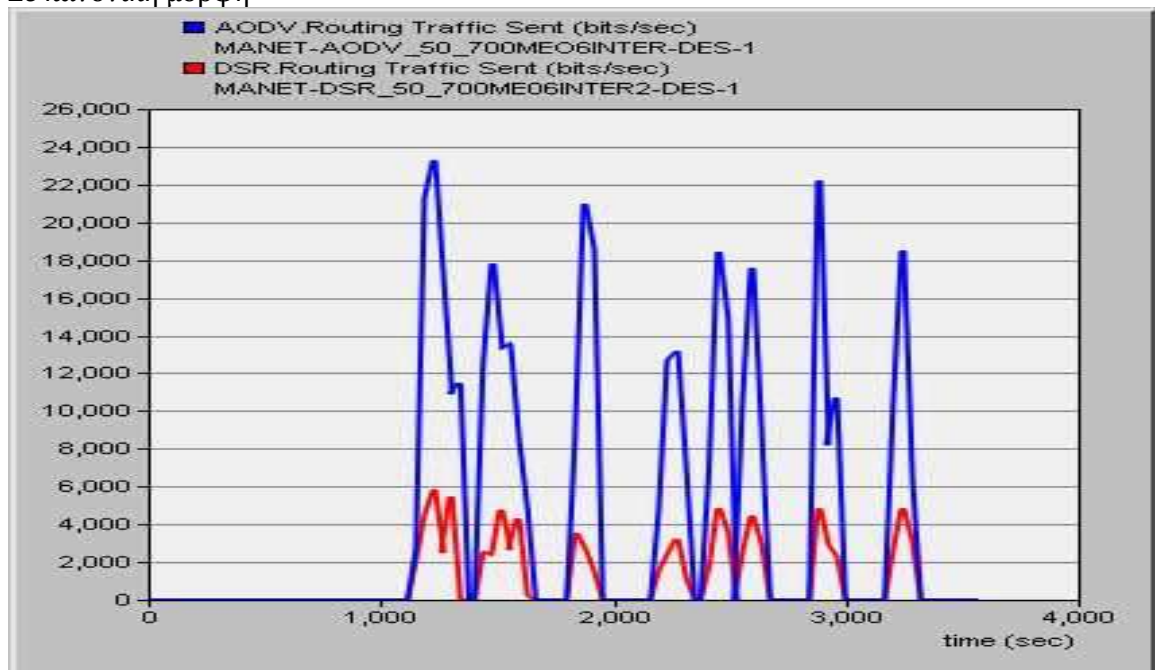
Σε packets/sec :

Σε κανονική μορφή



Σε bits/sec :

Σε κανονική μορφή

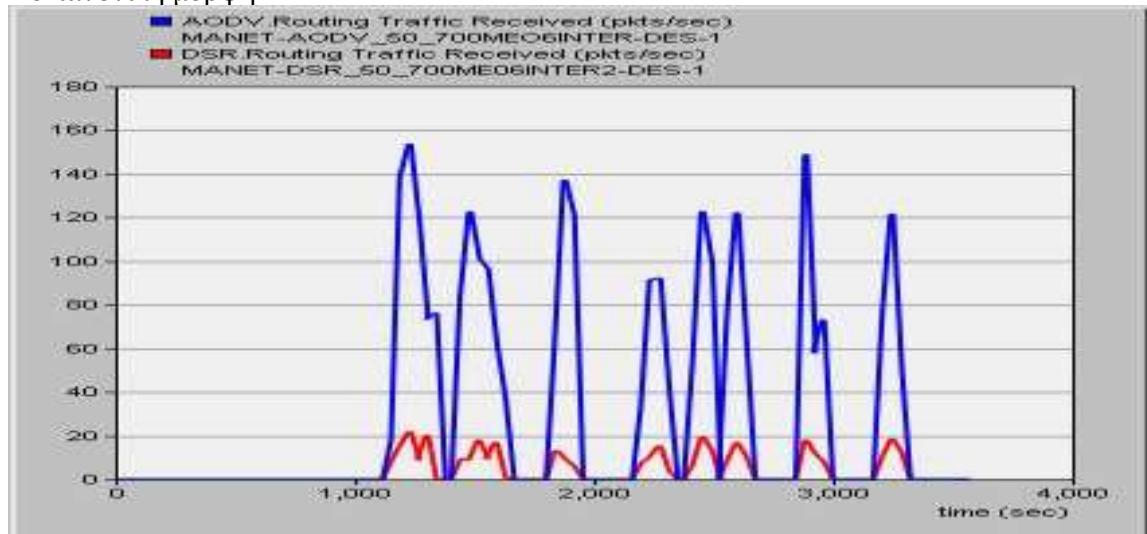


Παρατηρούμε ακόμα μια φορά ότι το AODV δημιουργεί μεγαλύτερη κίνηση μέσα στο δίκτυο.

### 3.4 Routing Traffic Received

Σε packets/sec :

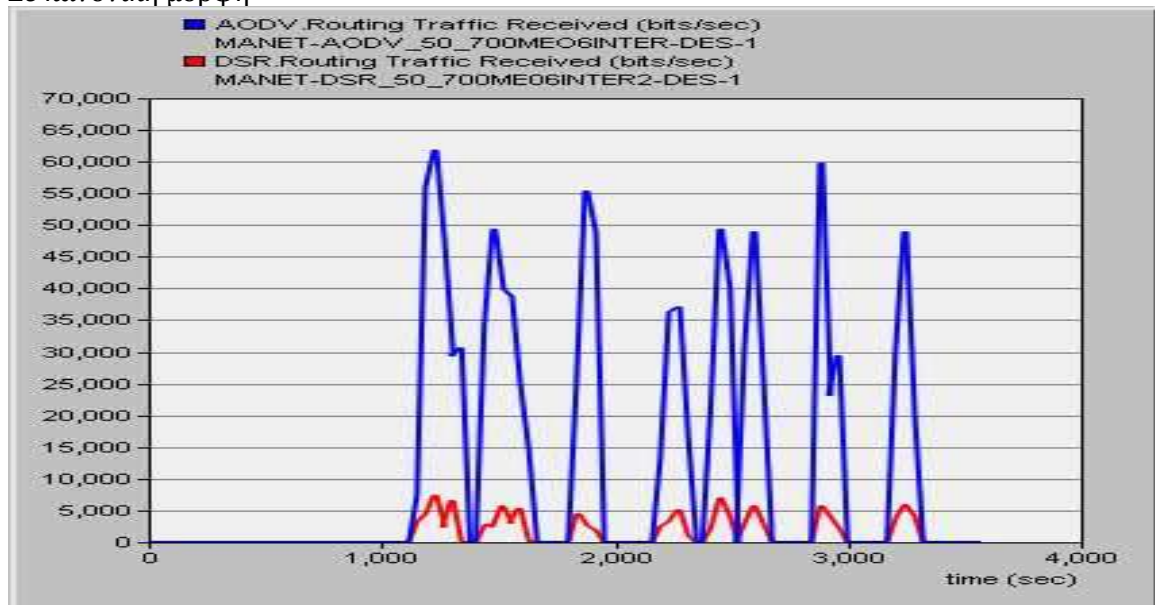
Σε κανονική μορφή



Στην περίπτωση του DSR βλέπουμε ότι η κίνηση που στέλνεται (Traffic Send) σχεδόν ταυτίζεται με την κίνηση που λαμβάνεται (Traffic Received), ενώ στο AODV αυτό δεν ισχύει.

Σε bits/sec :

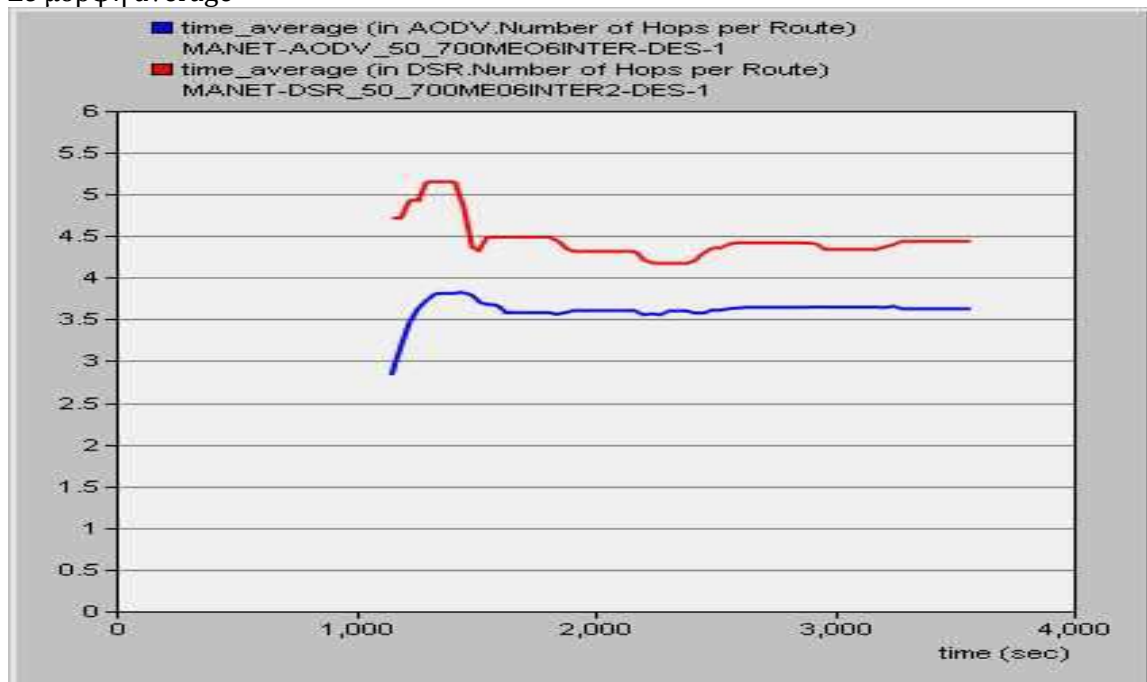
Σε κανονική μορφή



Βλέπουμε πάλι τα ίδια αποτελέσματα με τα παραπάνω γραφήματα σε μορφή bits/sec, όπου στο AODV παρατηρούμε μια αύξηση των λαμβανόμενων bits σε σχέση με τα bits που δημιουργήθηκαν προς αποστολή.

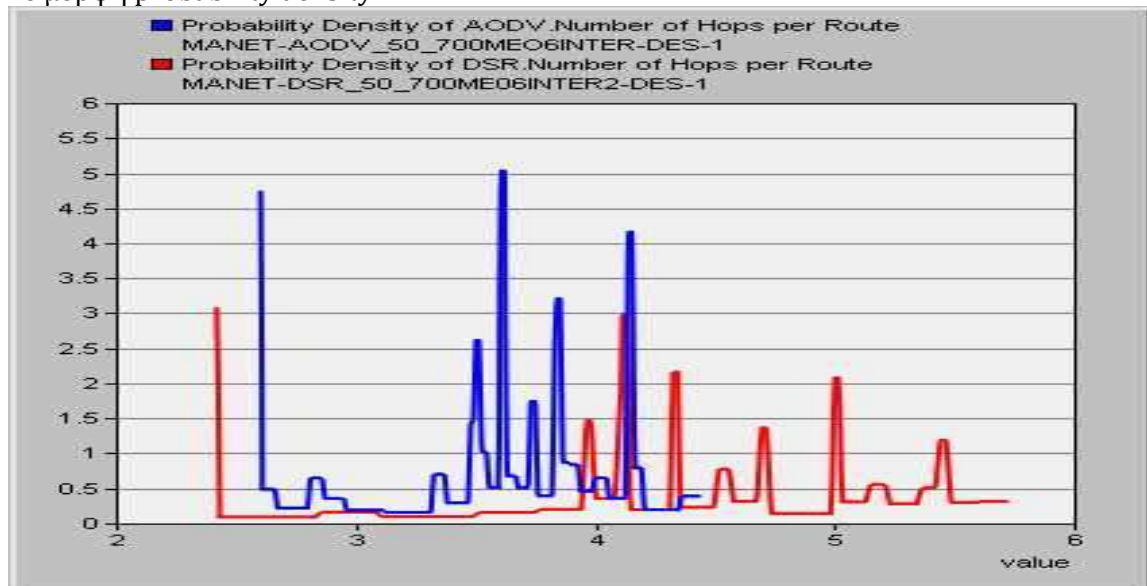
### 3.5 Number of hops per route

Σε μορφή average



Το παραπάνω γράφημα δείχνει τον αριθμό των βημάτων (Number of hops per Route) που κάνει ένα πακέτο για να φτάσει στον προορισμό του. Παρατηρούμε ότι με το AODV, ο αριθμός αυτός είναι μικρότερος σε σχέση με την περίπτωση όπου χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο DSR.

Σε μορφή probability density PDF



Από την παραπάνω γραφική της συνάρτησης κατανομής πιθανοτήτων, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι στην περίπτωση του AODV έχουμε μια συγκεντρωμένη συνάρτηση πιθανότητας γύρω από ένα μικρό εύρος τιμών, ενώ για το DSR έχουμε μια απλωμένη συνάρτηση με μεγαλύτερο εύρος τιμών.

4)

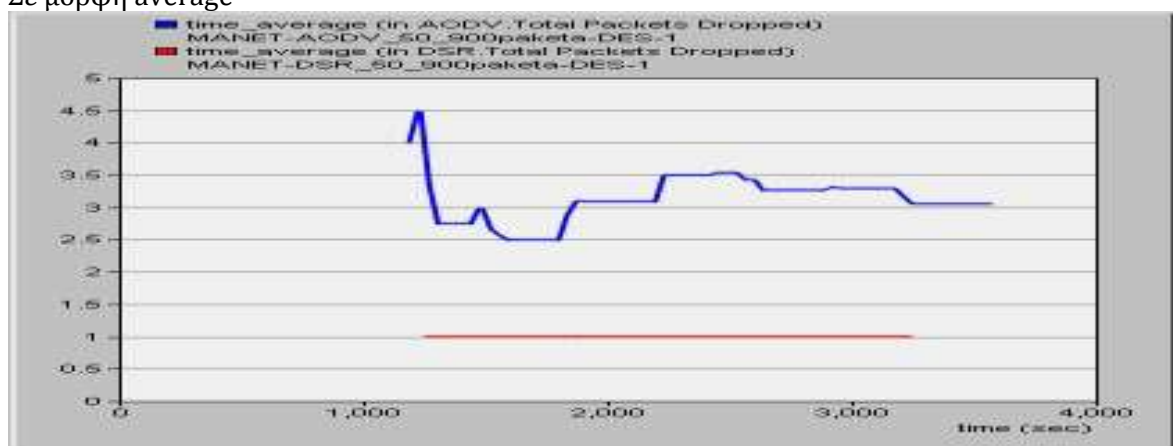


- ✓ Μέγεθος πακέτου : constant (900 bytes)
- ✓ Inter-arrival Time : constant (0.01 second)
- ✓ Packets per request : constant (150 )

### 3. Customer Application

#### 3.1 Total packet dropped

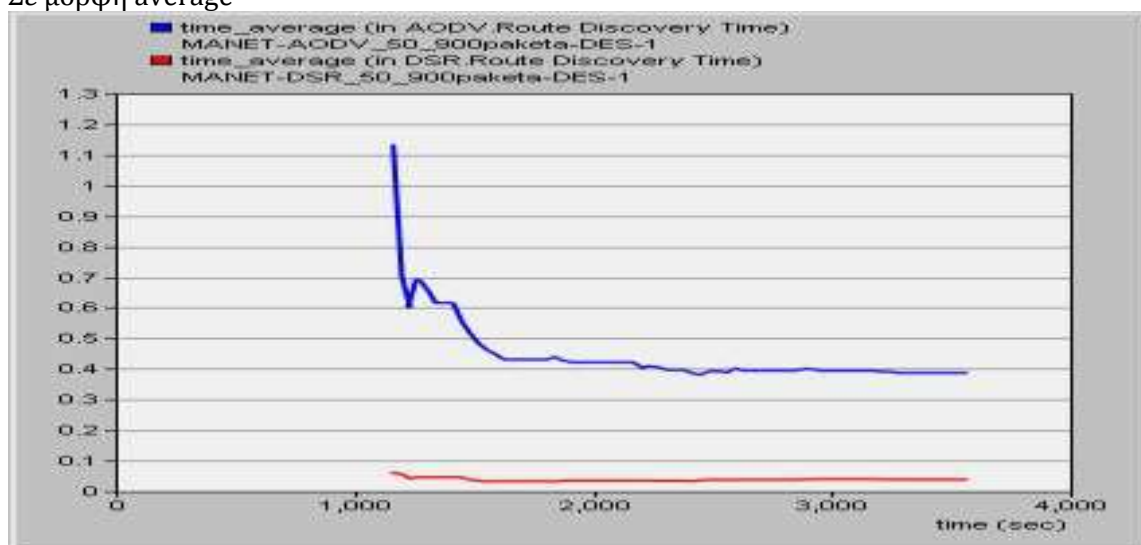
Σε μορφή average



Στην παραπάνω γραφική παράσταση, όπου απεικονίζεται το προφίλ της απώλειας πακέτων, παρατηρούμε μια σταθερή απώλεια πακέτων της τάξης της μονάδας στην περίπτωση του DSR, ενώ στην περίπτωση του AODV είναι μεταβλητή και κυμαίνεται γύρω στα 3.2 packets/sec .

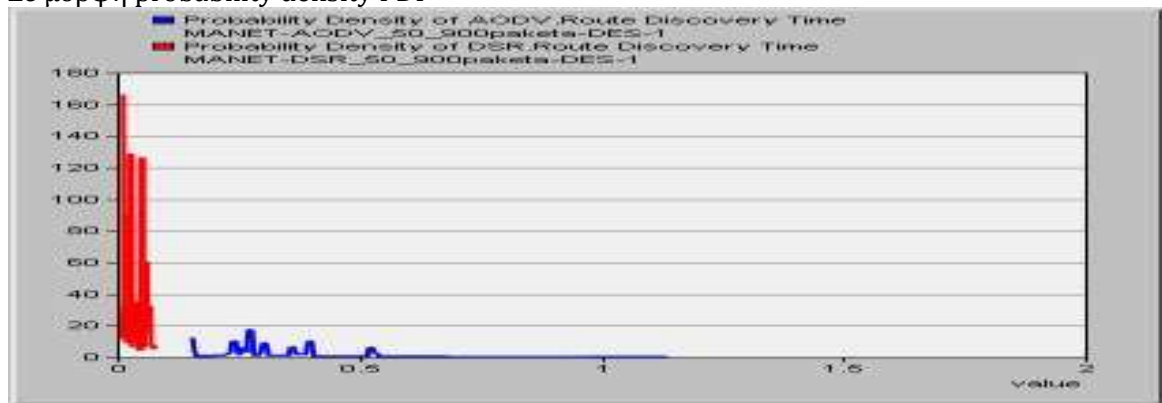
#### 4.2 Route discovery time

Σε μορφή average





Σε μορφή probability density PDF

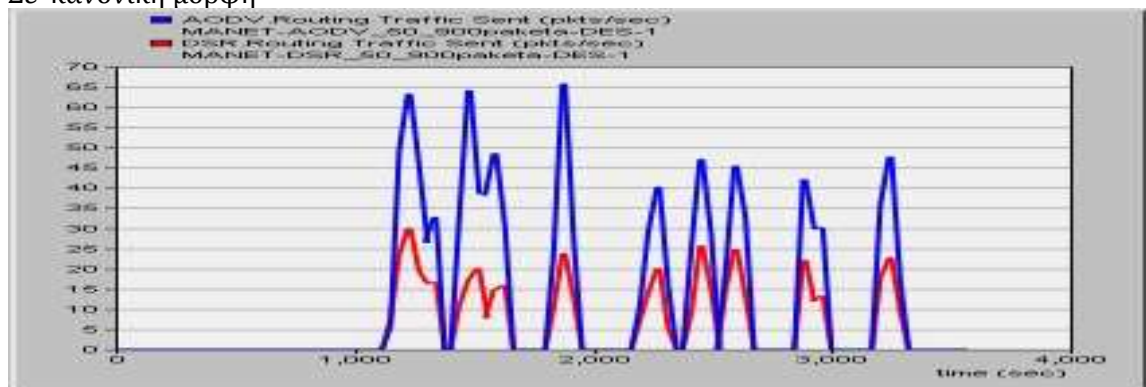


Παρατηρούμε ότι με το DSR η ανακάλυψη της διαδρομής δρομολόγησης γίνεται με γρηγορότερο ρυθμό(μικρό Route Discovery Time) σε σχέση με την περίπτωση όπου χρησιμοποιείται το AODV.

#### 4.3 Routing Traffic sent

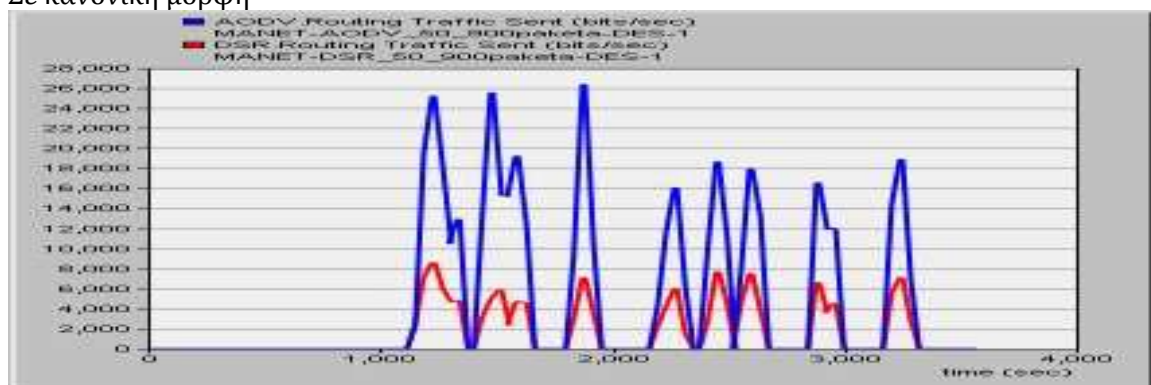
Σε packets/sec :

Σε κανονική μορφή



Σε bits/sec :

Σε κανονική μορφή



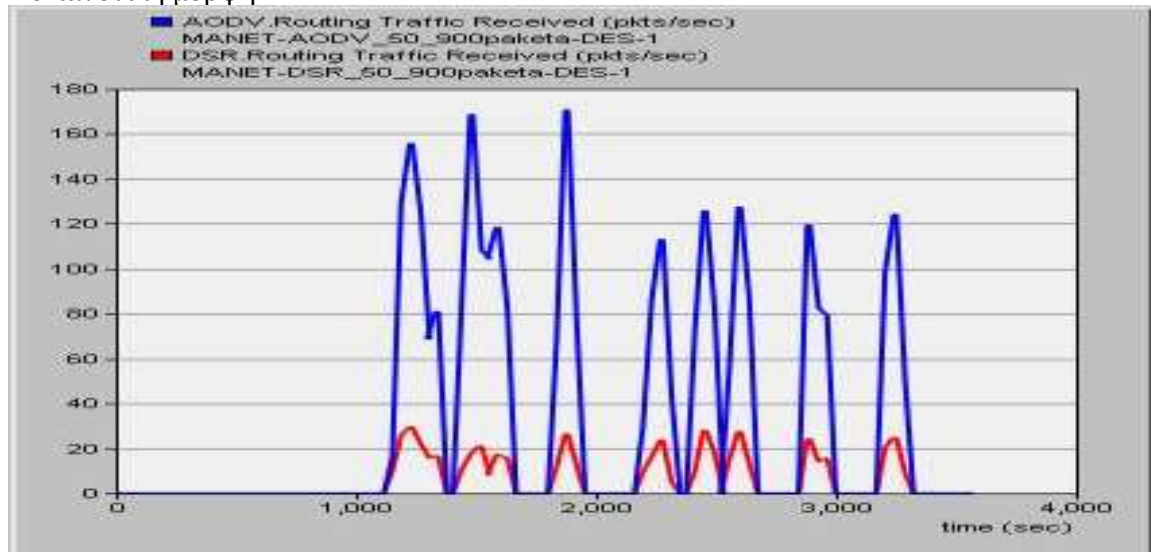
Παρατηρούμε ότι με το AODV δημιουργείται μεγαλύτερη κίνηση μέσα στο δίκτυο.



#### 4.4 Routing Traffic Received

Σε packets/sec :

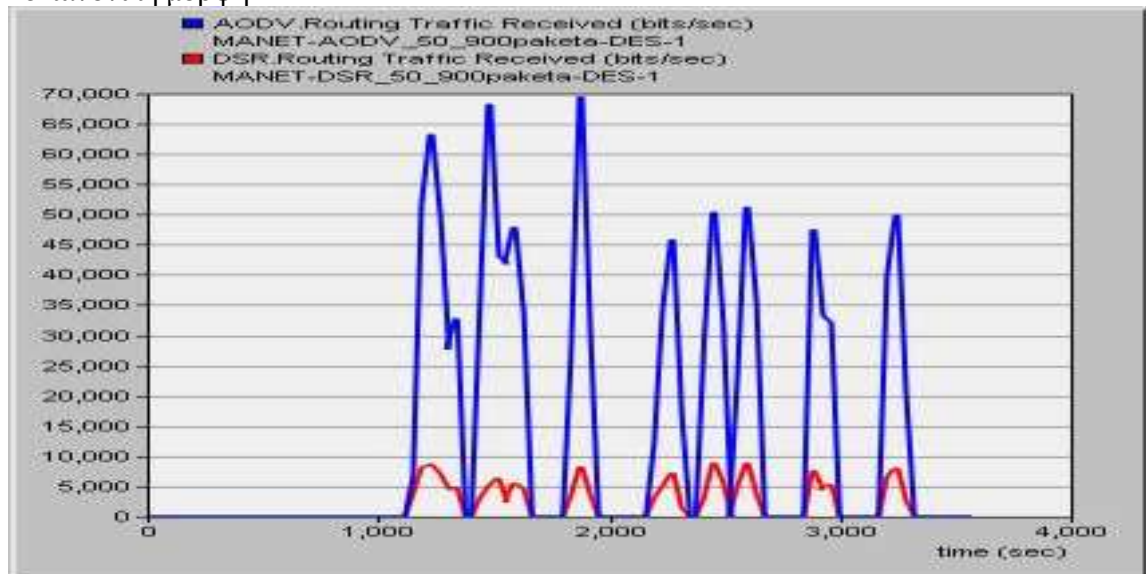
Σε κανονική μορφή



Στην περίπτωση του DSR βλέπουμε ότι η σταλμένη κίνηση (Traffic Send) ταυτίζεται με την λαμβανόμενη κίνηση (Traffic Received), ενώ στο AODV, λόγω της μεγαλύτερης κίνησης που δημιουργείται και επισημαίνοντας ότι ένας παραλήπτης μπορεί να λαμβάνει πακέτα από περισσότερους από έναν αποστολείς (πολλαπλές λήψεις), έχουμε μεγαλύτερο αριθμό λαμβανόμενων πακέτων.

Σε bits/sec :

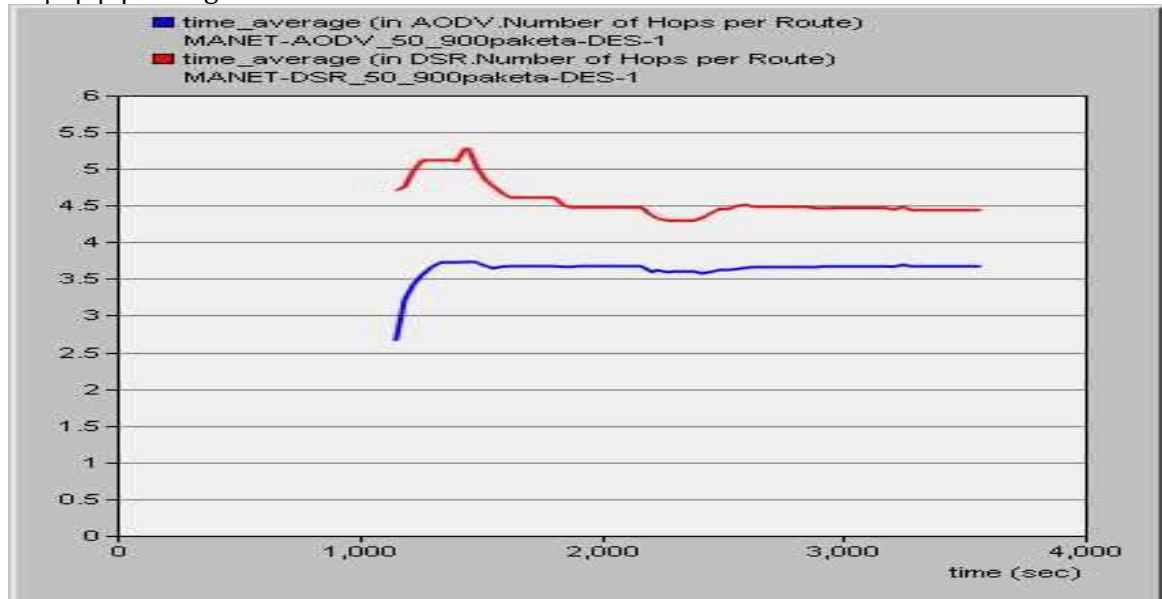
Σε κανονική μορφή



Παρουσιάζονται πάλι τα ίδια αποτελέσματα σε μορφή bits/sec στο πάνω σχήμα, όπου στο AODV παρατηρούμε μια αύξηση των λαμβανόμενων bits σε σχέση με τα bits που δημιουργήθηκαν προς αποστολή.

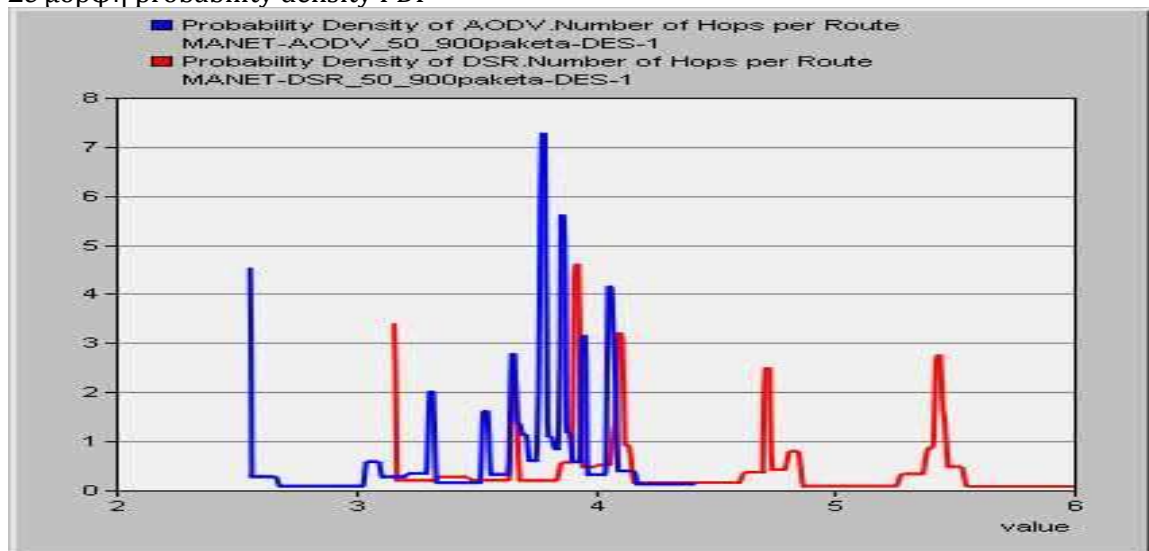
#### 4.5 Number of hops per route

Σε μορφή average



Παραπάνω είδαμε ότι με το DSR, η ανακάλυψη της διαδρομής δρομολόγησης γινόταν με πιο γρήγορο ρυθμό σε σχέση με το AODV. Παρατηρούμε ωστόσο στο πάνω σχήμα ότι το Number of hops per Route (ο αριθμός των βημάτων από τον αποστολέα μέχρι τον παραλήπτη) στην περίπτωση του AODV είναι πολύ μικρότερο σχετικά με την περίπτωση όπου χρησιμοποιείται το DSR σαν πρωτόκολλο δρομολόγησης. Επομένως, μπορούμε να πούμε ότι στο γεγονός αυτό οφείλεται η μικρή καθυστέρηση πακέτου στο δίκτυο (Packet Network Delay) που παρατηρείται στο Customer Application στην περίπτωση του AODV.

Σε μορφή probability density PDF



Από το παραπάνω σχήμα, το οποίο παρουσιάζει την συνάρτηση κατανομής πυκνότητας πιθανοτήτων, παρατηρούμε ότι με το DSR εμφανίζεται μια απλωμένη συνάρτηση με μεγαλύτερο εύρος τιμών, ενώ στην περίπτωση του AODV είναι πιο πυκνή γύρω από ένα μικρότερο εύρος.

5)

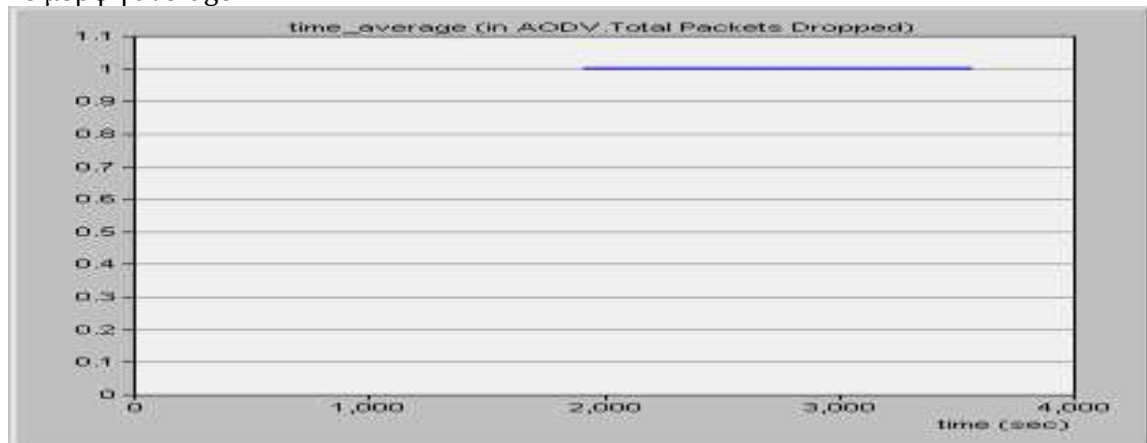


- ✓ **Μέγεθος πακέτου : constant (500 bytes)**
- ✓ **Inter-arrival Time : constant (0.6 second)**
- ✓ **Packets per request : constant (150 )**

#### 4. Customer Application

##### 4.1 Total packet dropped

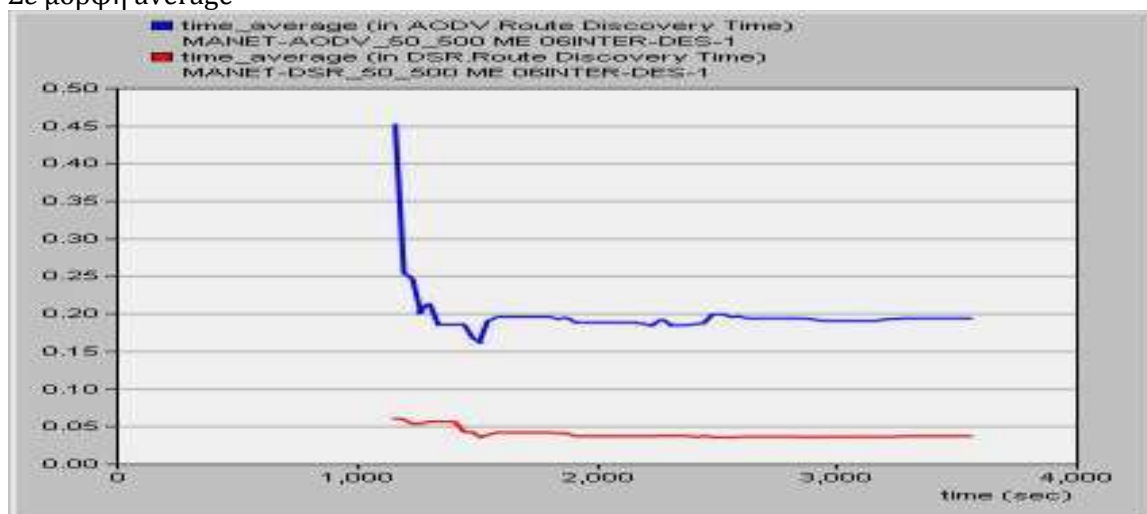
Σε μορφή average



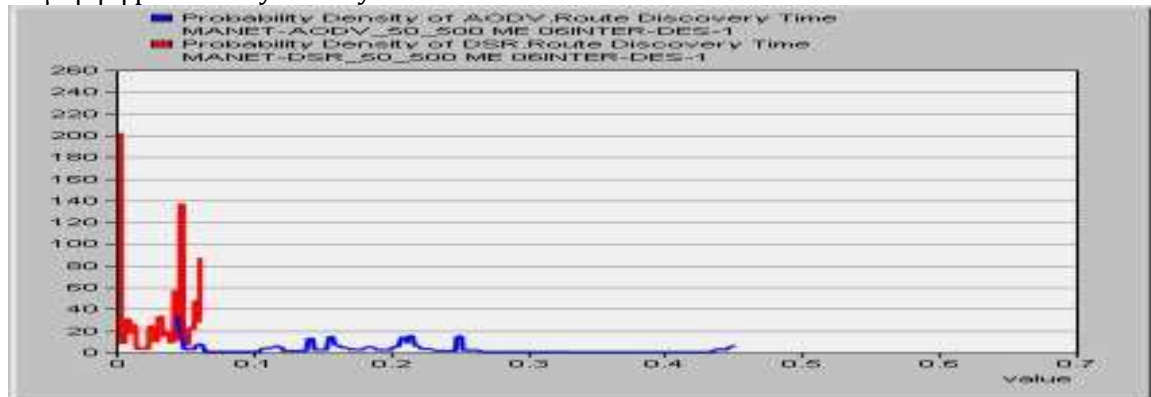
Στην παραπάνω γραφική παράσταση που απεικονίζει το προφίλ της απώλειας πακέτου (Total packet dropped) παρατηρούμε ότι εμφανίζεται μια σταθερή απώλεια πακέτου της τάξης της μονάδας στην περίπτωση του AODV, ενώ με το DSR δεν έχουμε απώλεια πακέτου.

##### 5.2 Route discovery time

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF

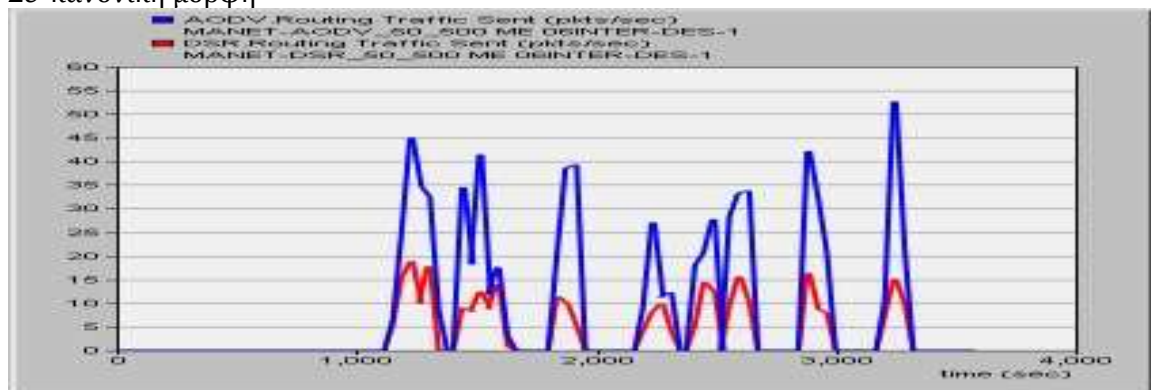


Με το DSR παρατηρούμε μια γρηγορότερη διαδικασία ανακάλυψης διαδρομής δρομολόγησης (Route Discovery Time) σε σύγκριση με το AODV.

### 5.3 Routing Traffic sent

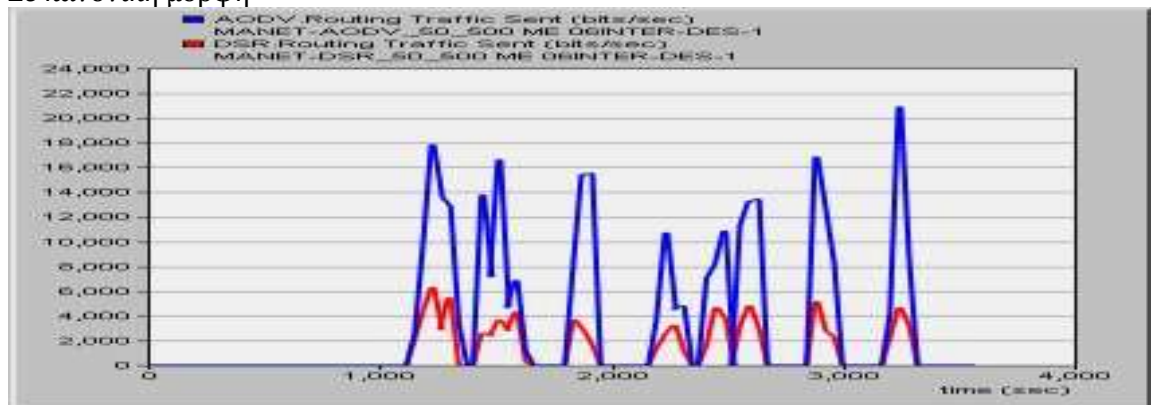
Σε packets/sec :

Σε κανονική μορφή



Σε bits/sec :

Σε κανονική μορφή

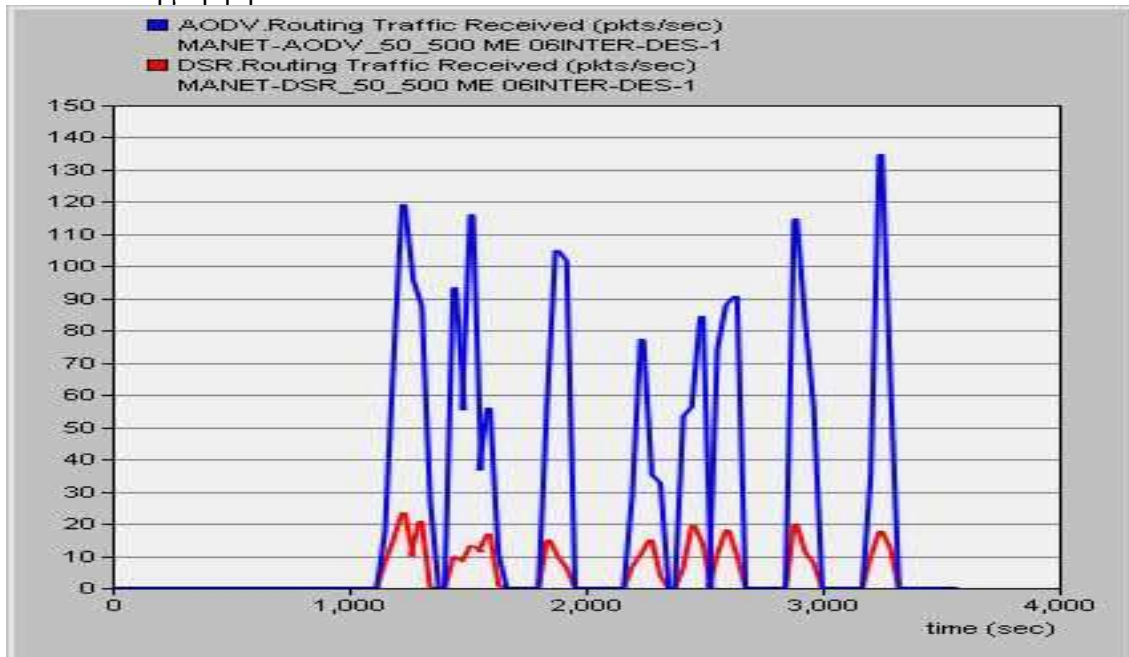


Με το AODV δημιουργείται μεγαλύτερη κίνηση μέσα στο δίκτυο, κάτι το οποίο μπορεί να προκαλέσει συμφόρηση στο δίκτυο και να έχει ως αποτέλεσμα την μεγάλη απώλεια πακέτων. Αντίθετα, με το DSR δημιουργείται μικρότερη κίνηση με αποτέλεσμα να μην υπερφορτώνεται το δίκτυο και επομένως να έχουμε μικρή απώλεια πακέτων.

#### 5.4 Routing Traffic Received

Σε packets/sec :

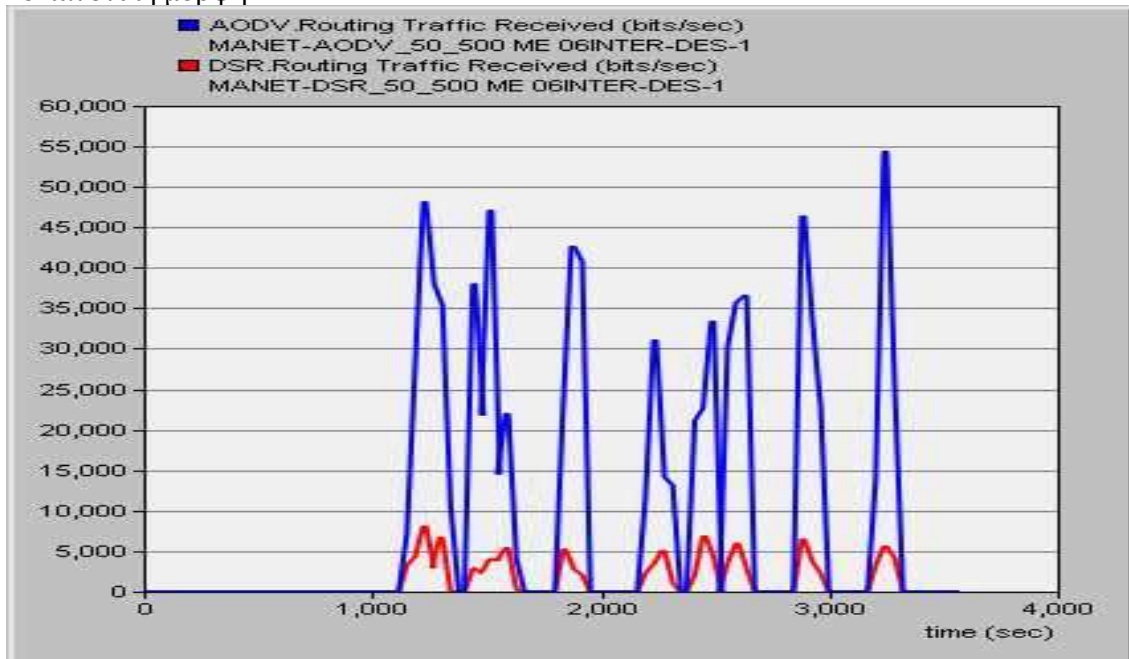
Σε κανονική μορφή



Στην περίπτωση του DSR βλέπουμε ότι η κίνηση που στέλνεται (Traffic Send) ταυτίζεται με την κίνηση που λαμβάνεται (Traffic Received), ενώ στο AODV, λόγω της μεγαλύτερης κίνησης που δημιουργείται, έχουμε μεγαλύτερο αριθμό λαμβανόμενων πακέτων .

Σε bits/sec :

Σε κανονική μορφή

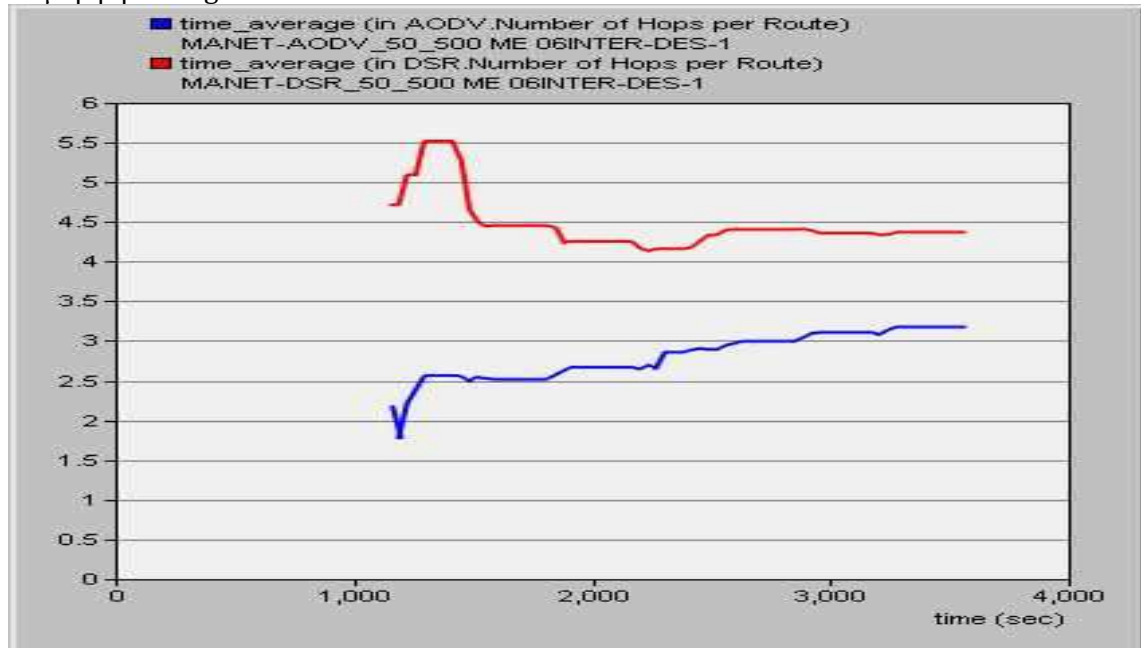


Παρουσιάζονται πάλι τα ίδια αποτελέσματα σε μορφή bits/sec.



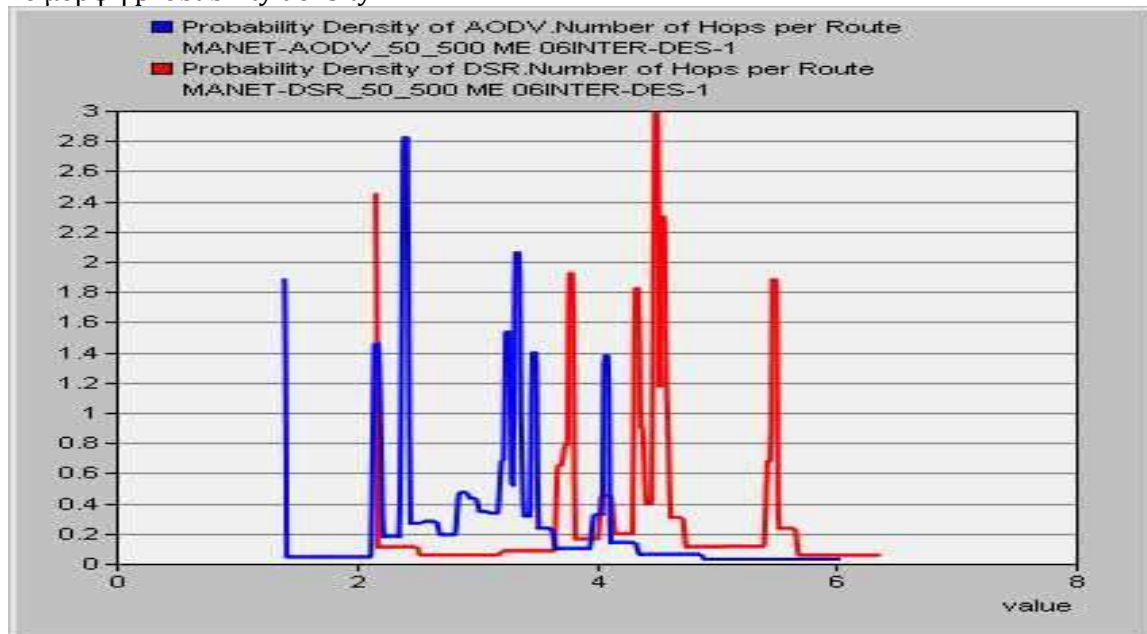
## 5.5 Number of hops per route

Σε μορφή average



Από το παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι με το AODV έχουμε μικρότερο αριθμό κόμβων από τους οποίους περνάνε τα πακέτα για να φτάσουν στον προορισμό (Number of hops per Route).

Σε μορφή probability density PDF



Στο πάνω σχήμα παρουσιάζεται πάλι η συνάρτηση κατανομής πυκνότητας πιθανοτήτων του AODV, συγκεντρωμένη σε ένα μικρότερο εύρος σε σχέση με εκείνη του DSR.

### 3<sup>ο</sup> μέρος

#### 3.1 DSR εφαρμογή

##### 3.1.1 Route Discovery Time

##### 3.1.2 Packet Network Delay(seconds)

##### 3.1.3 Total Packet Dropped

##### 3.1.4 Routing Traffic Send(packets/sec και bits/sec)

##### 3.1.5 Number of Hops per Route

#### 3.2 AODV εφαρμογή

##### 3.2.1 Route Discovery Time

##### 3.2.2 Packet Network Delay(seconds)

##### 3.2.3 Total Packet Dropped

##### 3.2.4 Routing Traffic Send(packets/sec και bits/sec)

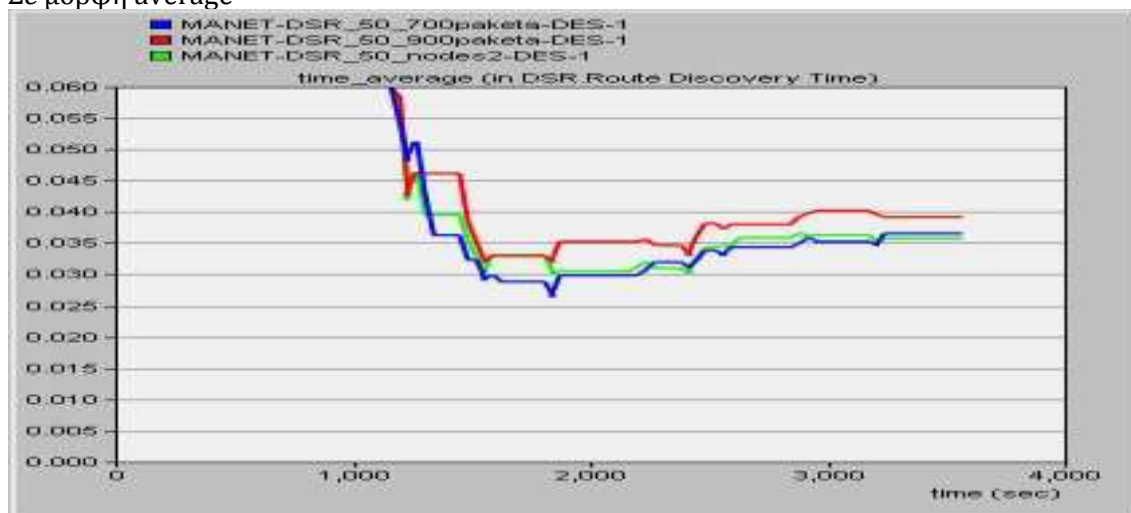
##### 3.2.5 Number of Hops per Route

### ➤ 3.1 DSR εφαρμογή

- ❖ Στην πρώτη περίπτωση, προσομοιώνουμε με το πρωτόκολλο DSR το Customer Application αλλάζοντας διαδοχικά το μέγεθος του πακέτου, ξεκινώντας από πακέτο μεγέθους 500 bytes, έπειτα 700 bytes και στο τέλος 900 bytes και διατηρώντας το Interarrival Time σταθερό (0.01 sec). Παρακάτω παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα με τα διαφορετικά μεγέθη πακέτων και τα συγκρίνουμε.

#### 3.1.6 Route Discovery Time

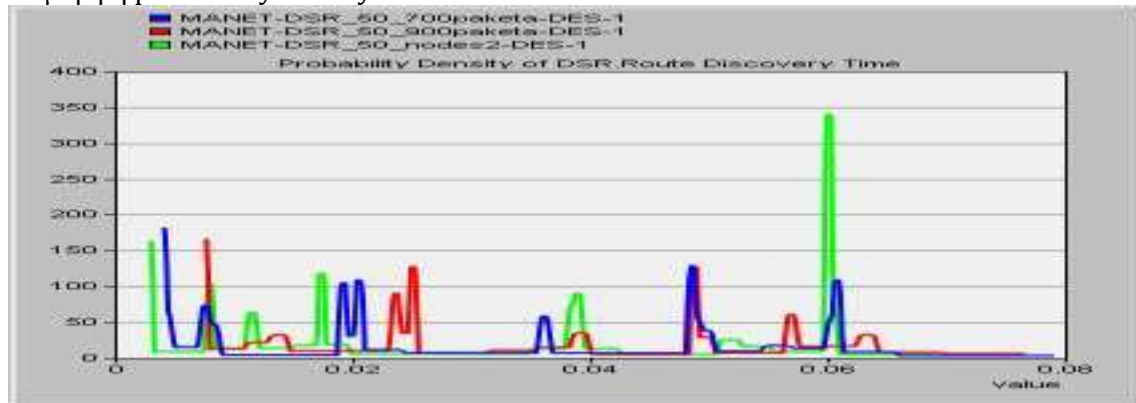
Σε μορφή average



Παρατηρούμε ότι όσο μεγαλώνει το μέγεθος του πακέτου, τόσο μεγαλύτερος χρόνος απαιτείται για να ανακαλύψει νέα διαδρομή, δηλαδή για μέγεθος πακέτου 500 bytes η καθυστέρηση ανακάλυψης διαδρομής είναι μικρότερη σε σχέση με πακέτα μεγέθους 700 και 900 bytes. Για 900 bytes μέγεθος πακέτου, επειδή είναι μεγάλο το πακέτο και θα χρειαστεί να γίνει τεμαχισμός κατά την δρομολόγησή του μέσα στο δίκτυο, παρατηρούμε μεγαλύτερο χρόνο ανακάλυψης νέας διαδρομής.



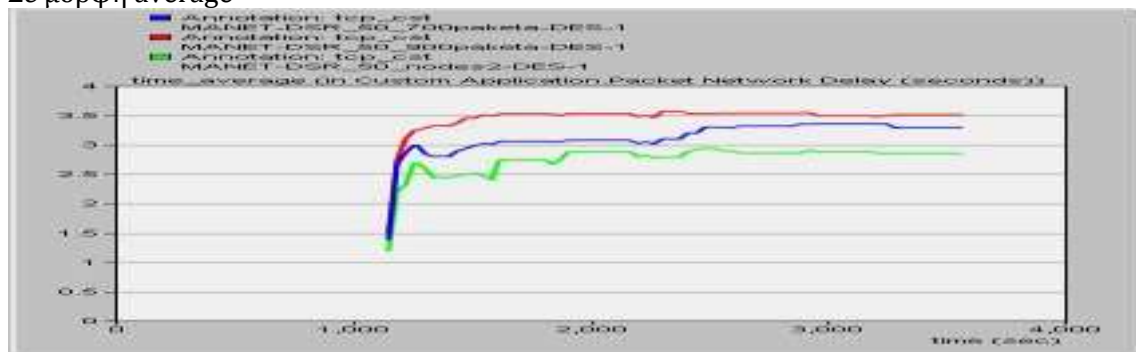
Σε μορφή probability density PDF.



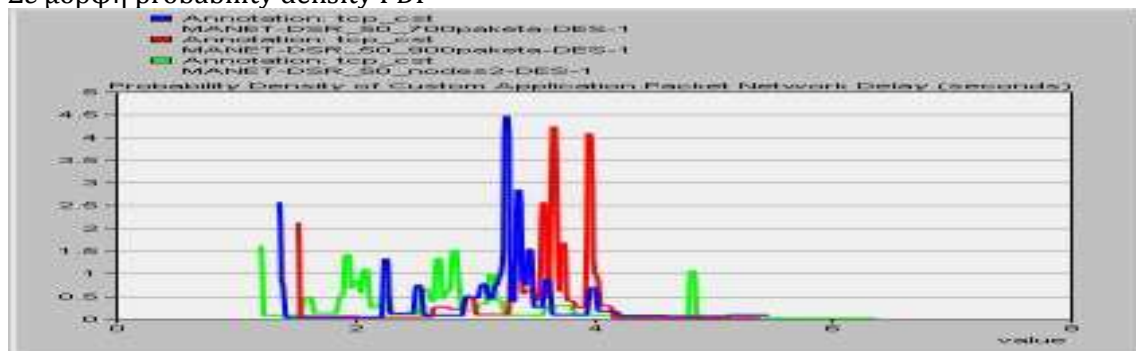
Φαίνεται στο πάνω διάγραμμα ότι η κατανομή της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας για το πακέτο με μέγεθος 500 bytes είναι πιο συγκεντρωμένη στην αρχή του άξονα, δηλαδή γύρω από ένα μικρότερο εύρος τιμών, ενώ για τα μεγαλύτερα μεγέθη πακέτου είναι πολύ αραιωμένη .

### 3.1.7 Packet Network Delay(seconds)

Σε μορφή average



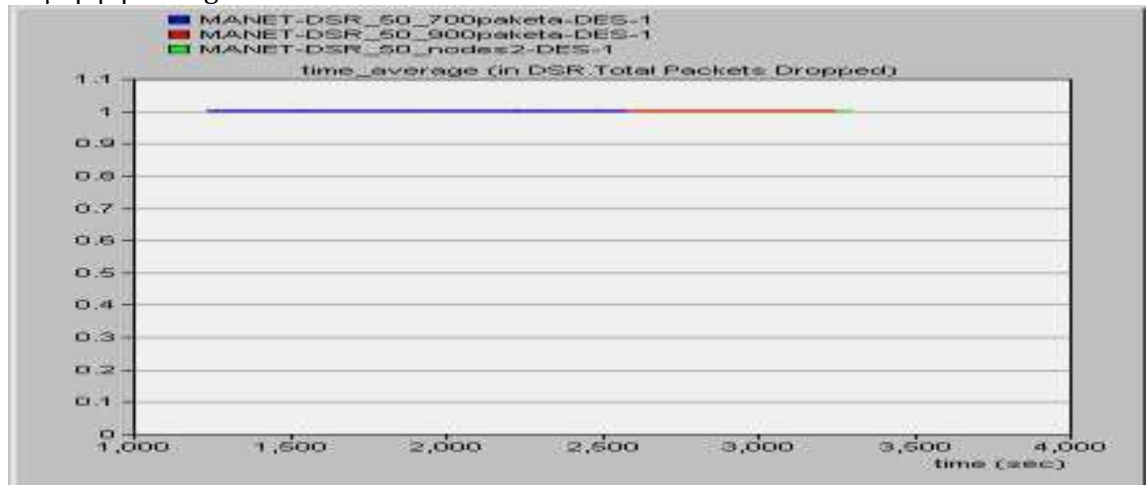
Σε μορφή probability density PDF



Όπως παρατηρήθηκε παραπάνω, η μεγαλύτερη καθυστέρησης ανακάλυψης διαδρομής είναι για τα πακέτα μεγέθους 700 bytes και 900 bytes. Σε αυτές τις περιπτώσεις θα έχουμε αυξημένο ποσοστό απωλειών πακέτων κατά την δρομολόγηση στο δίκτυο. Επομένως, κοιτώντας τα παραπάνω σχήματα με την απώλεια πακέτων παρατηρούμε ότι έχουμε μεγάλη απώλεια πακέτων στην περίπτωση των 700 και 900 bytes. Μάλιστα στα 900 bytes κορυφώνεται αυτή η απώλεια.

### 3.1.8 Total Packet Dropped

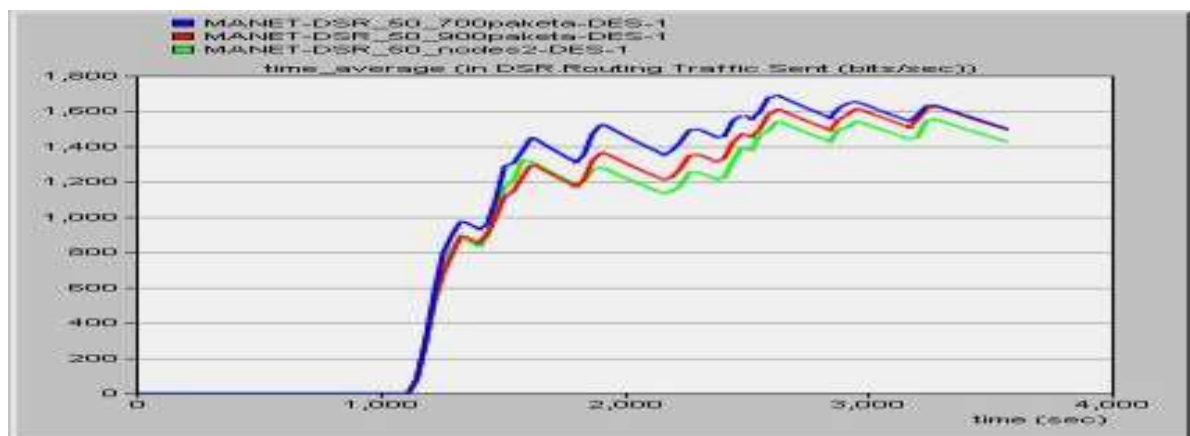
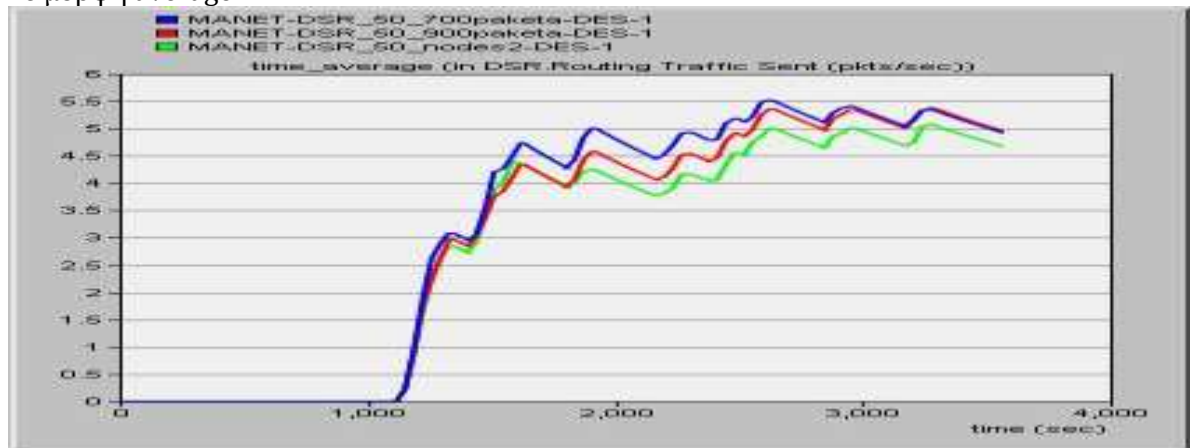
Σε μορφή average



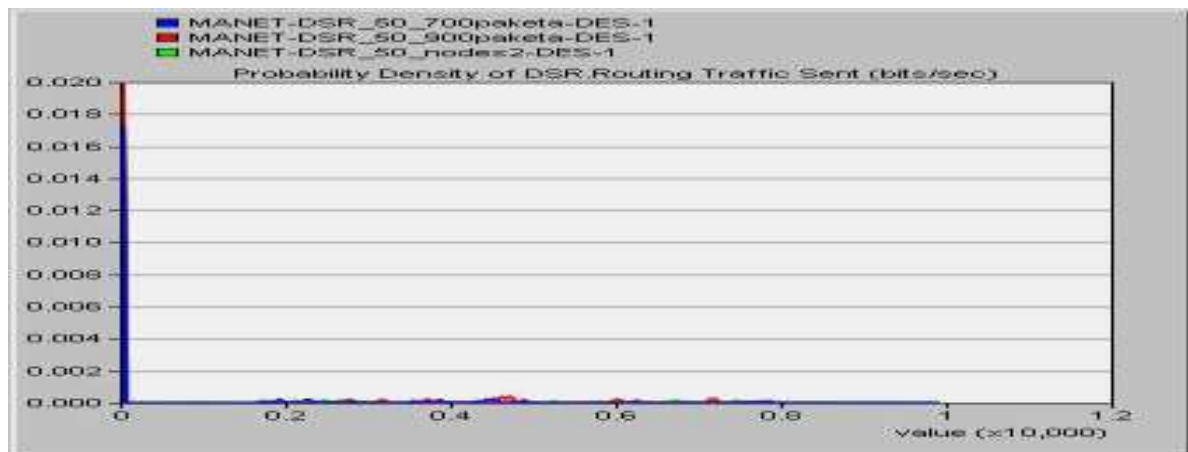
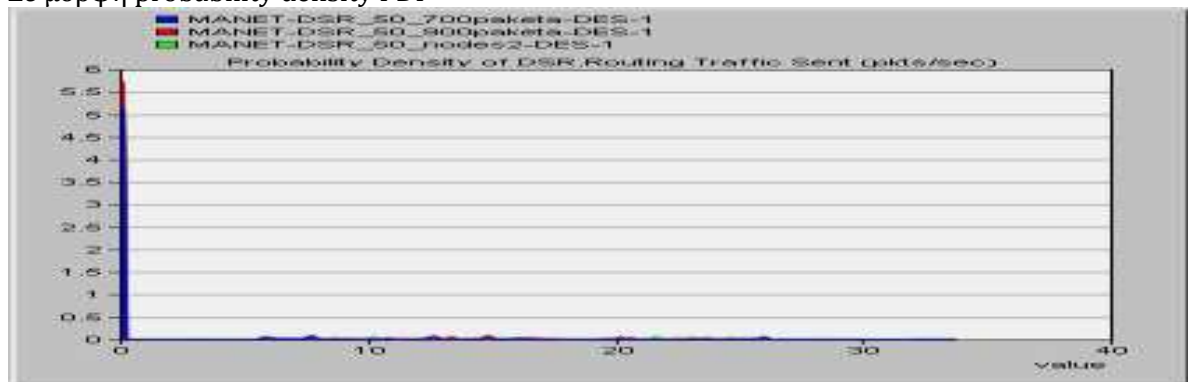
Όσον αφορά την συνολική απώλεια πακέτου (Total Packets Dropped), έχουμε ένα ποσοστό που είναι σταθερό για όλα τα μεγέθη πακέτων.

### 3.1.9 Routing Traffic Send(packets/sec και bits/sec)

Σε μορφή average



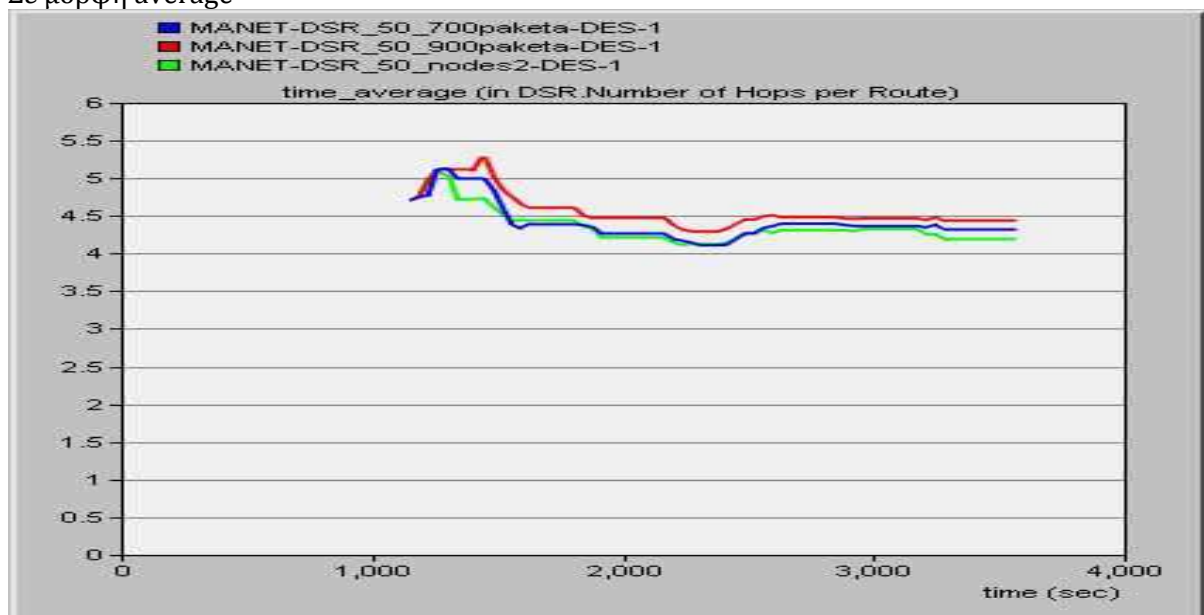
Σε μορφή probability density PDF



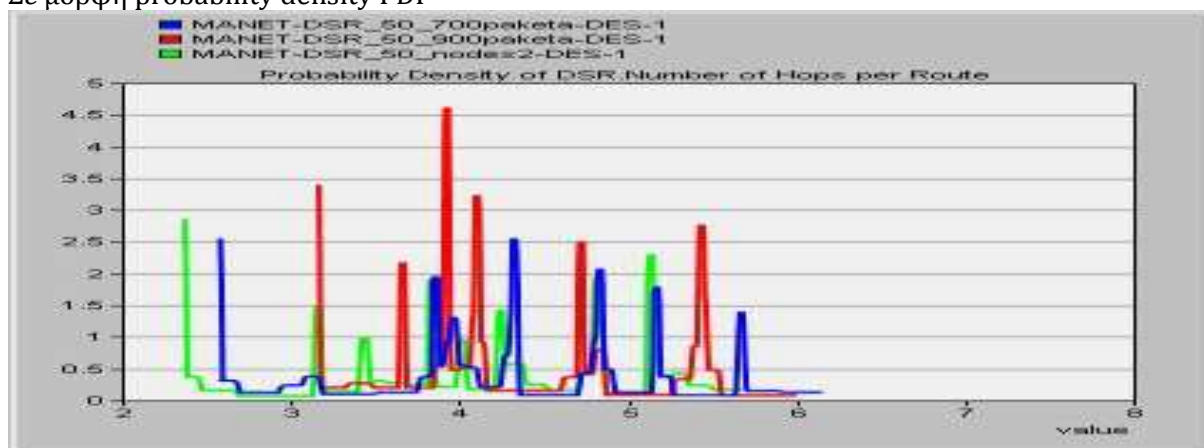
Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση των πακέτων 700 και 900 bytes εμφανίζεται μεγαλύτερη απεσταλμένη κίνηση ( Routing Traffic Sent ) σε σχέση με την περίπτωση πακέτων μεγέθους 500 bytes.

### 3.1.10 Number of Hops per Route

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF

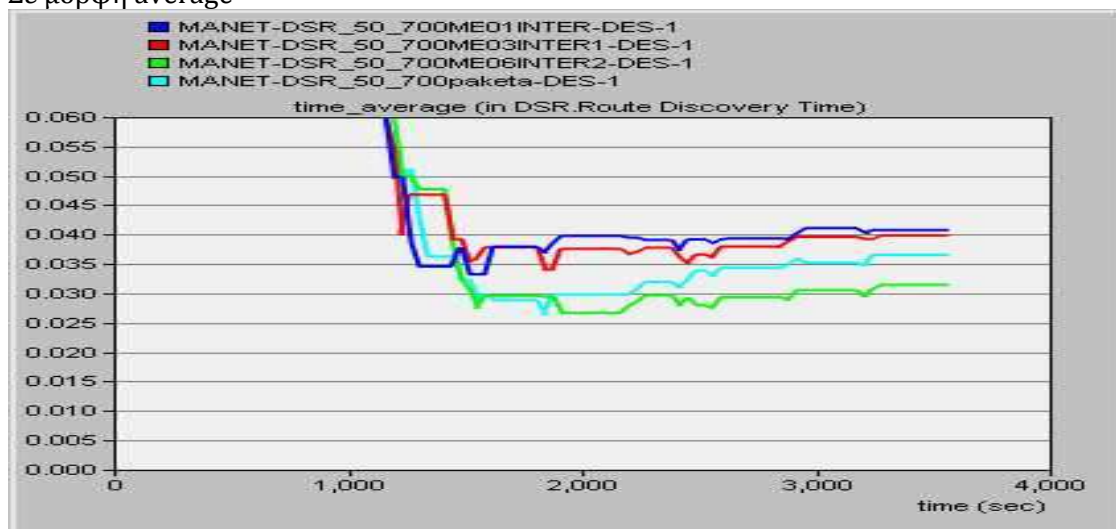


Αν και παρατηρούμε στο παραπάνω σχήμα ότι το Number of Hops per Route στην περίπτωση πακέτου μεγέθους 500 bytes είναι μικρότερο από εκείνο με πακέτα 700 και 900 bytes, το Routing Traffic Sent για τα πακέτα 700 και 900 bytes είναι μεγαλύτερο σε σχέση με εκείνο του πακέτου μεγέθους 500 bytes .

- ❖ Στην δεύτερη περίπτωση, προσομοιώνουμε με το πρωτόκολλο DSR το Customer Application αλλάζοντας διαδοχικά το Interarrival Time, ξεκινώντας από Interarrival Time 0.01 sec, έπειτα 0.1 sec , 0.3 sec και στο τέλος 0.6 sec. Κατά την διάρκεια της προσομοίωσης το μέγεθος του πακέτου παραμένει σταθερό (700 bytes). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

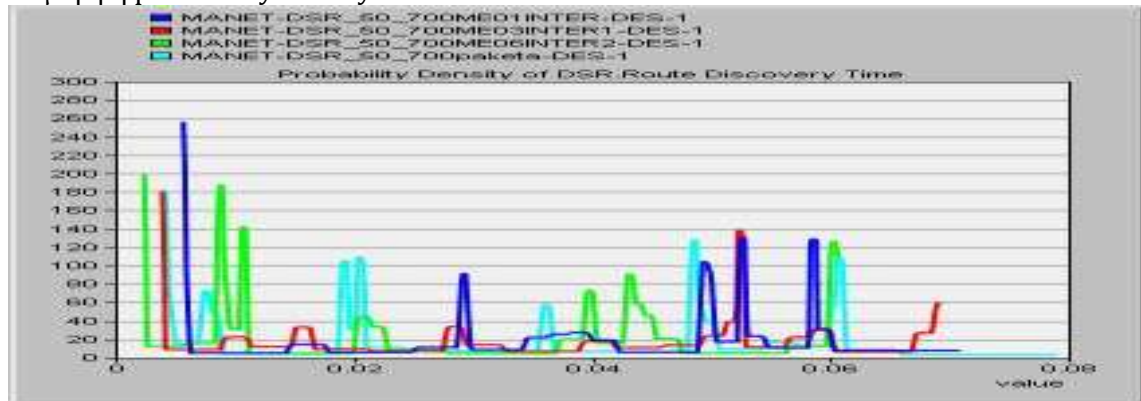
### 3.1.2 Route Discovery Time

Σε μορφή average



Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση όπου το Interarrival Time είναι ίσο με 0.6 sec έχουμε μικρότερο χρόνο ανακάλυψης διαδρομής (Route Discovery Time) σε σχέση με τις άλλες περιπτώσεις.

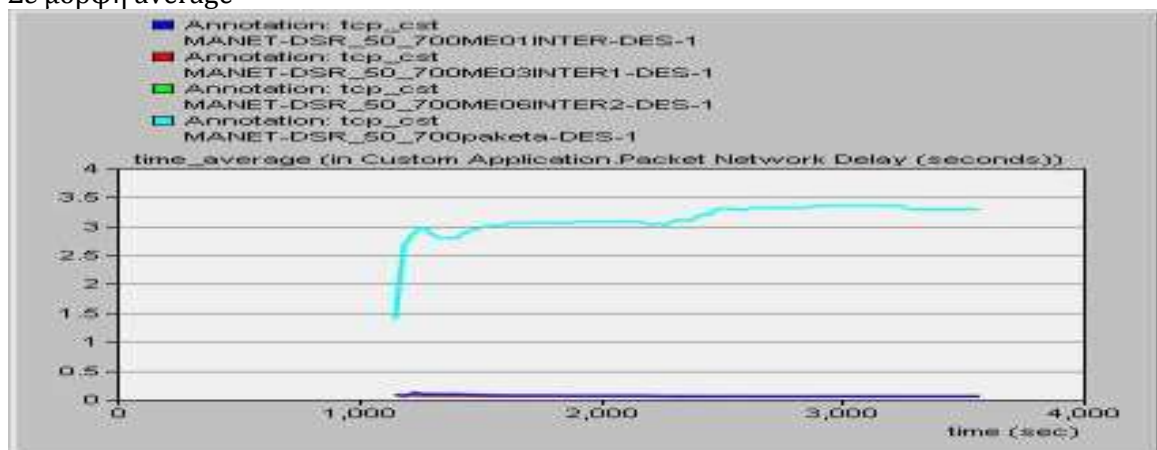
Σε μορφή probability density PDF



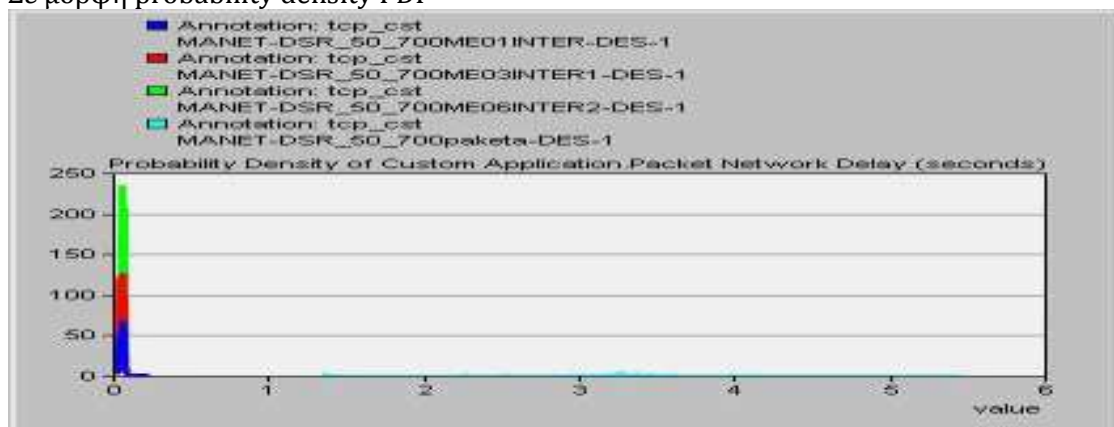
Φαίνεται στο παραπάνω σχήμα ότι η συνάρτηση κατανομής πυκνότητας πιθανοτήτων για πακέτο μεγέθους 700 bytes με Interarrival Time 0.6 sec είναι πιο συγκεντρωμένη στην αρχή του άξονα.

### 3.1.6 Packet Network Delay(seconds)

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF

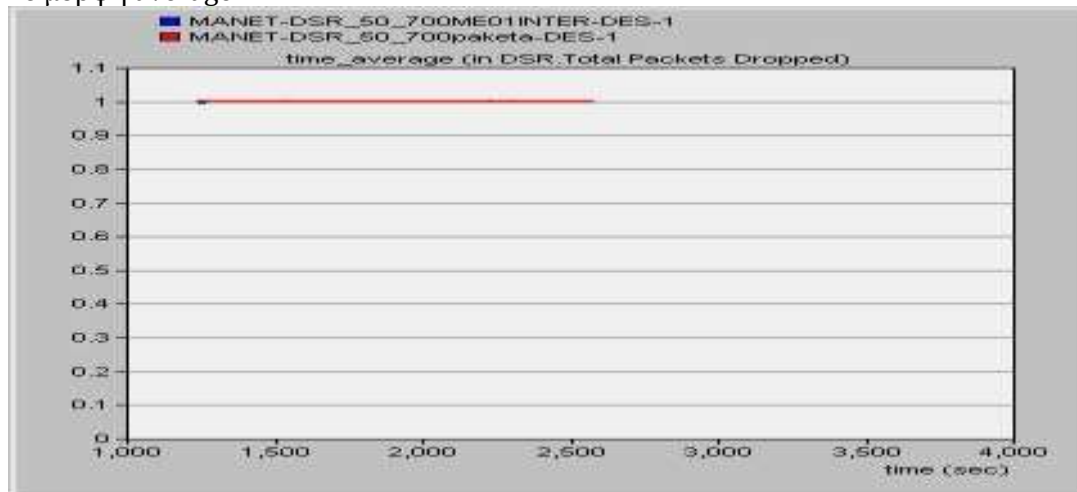


Όπως φαίνεται στις παραπάνω γραφικές, όσο πιο μεγάλη γίνεται η τιμή του Interarrival Time, τόσο πιο μικρή καθυστέρηση παρουσιάζει η δρομολόγηση του πακέτου.



### 3.1.7 Total Packet Dropped

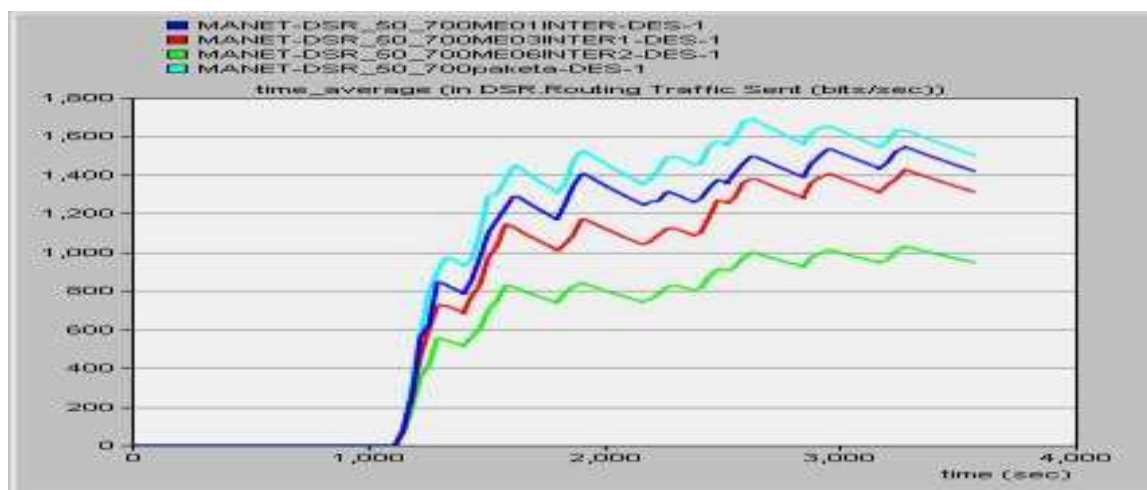
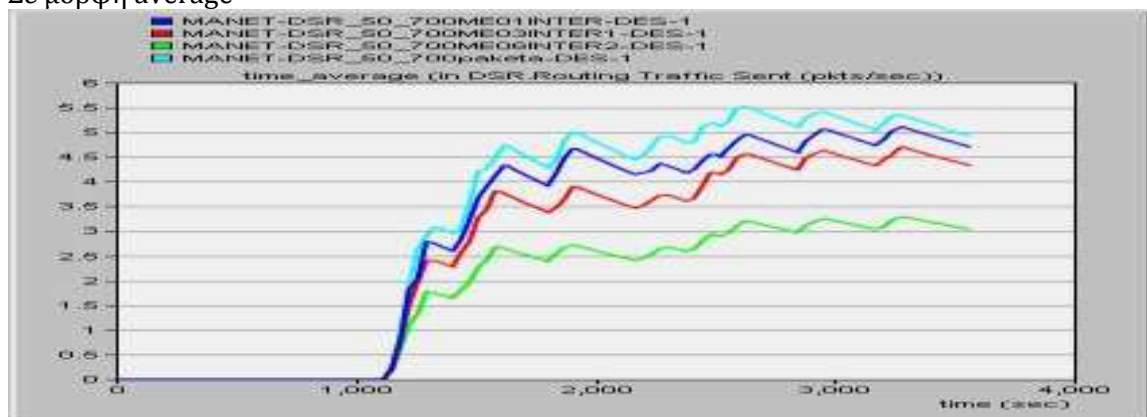
Σε μορφή average



Απώλεια πακέτου της τάξης της μονάδας εμφανίζεται μόνο στις δύο περιπτώσεις όπου το Interarrival Time είναι ίσο με 0.01 ή 0.1 sec (με άλλα λόγια στις μικρότερες τιμές του Interarrival Time), ενώ στις μεγαλύτερες τιμές δεν εμφανίζεται απώλεια.

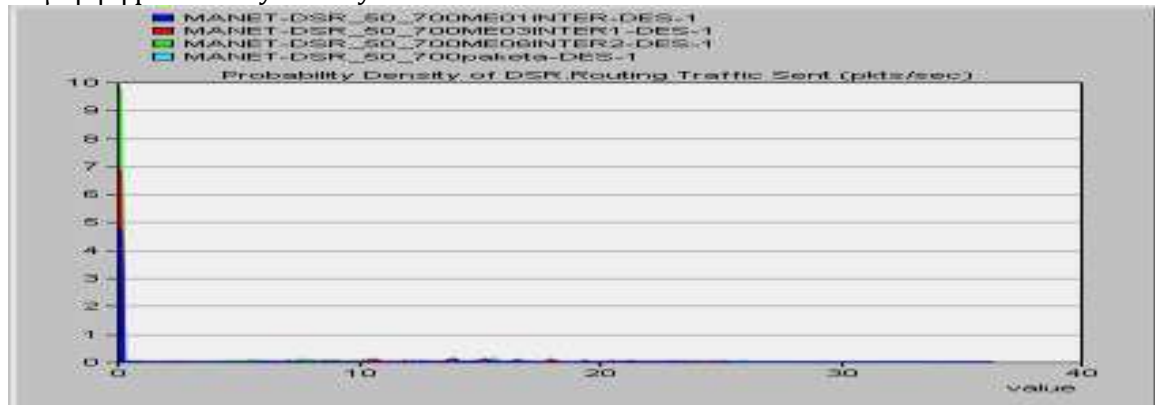
### 3.1.8 Routing Traffic Send(packets/sec και bits/sec)

Σε μορφή average





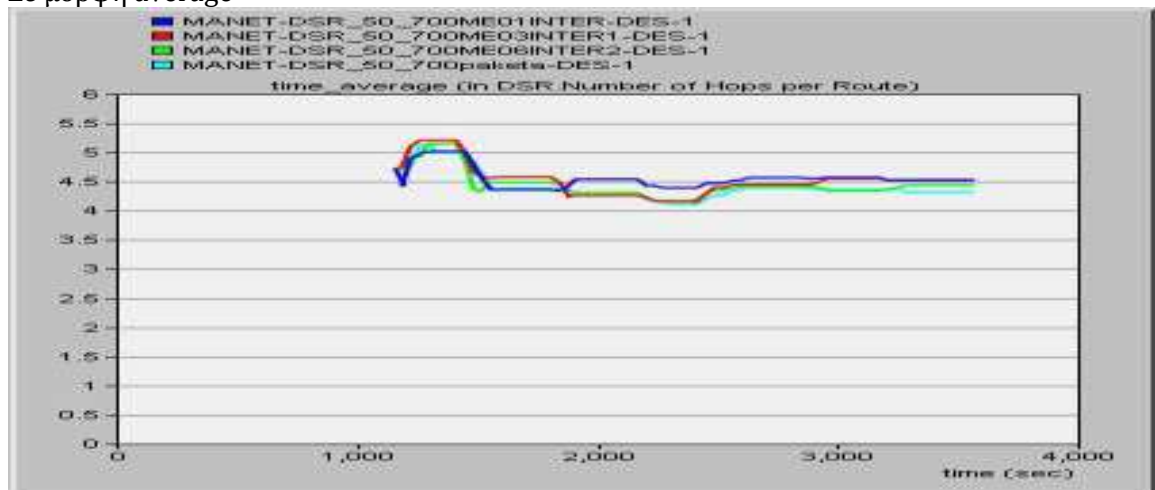
Σε μορφή probability density PDF



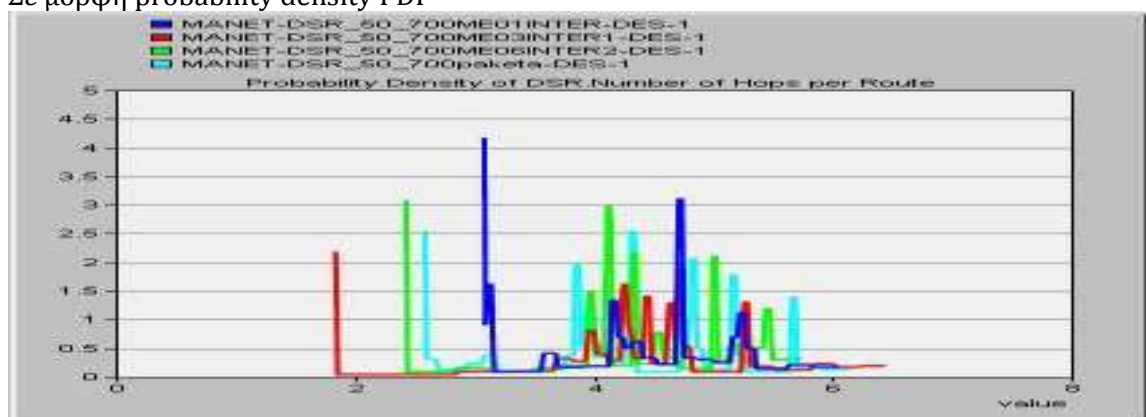
Παρατηρούμε ότι όσο πιο μικρό Interarrival Time βάζουμε, τόσο πιο μεγάλη κίνηση στέλνεται (Traffic Sent) στο δίκτυο. Η αύξηση του Interarrival Time έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της κίνησης στο δίκτυο.

### 3.1.9 Number of Hops per Route

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF



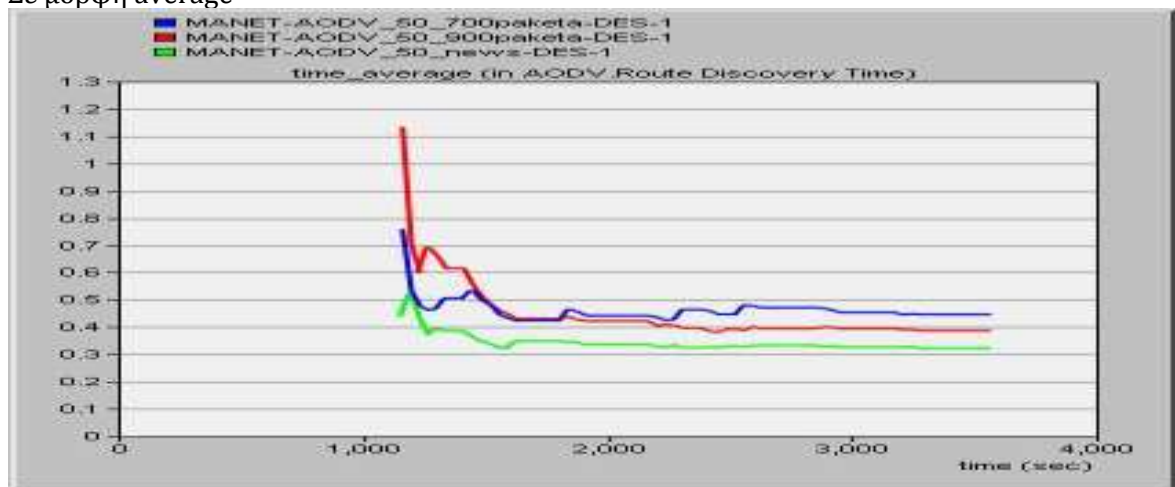
Το Number of Hops per Route είναι σχεδόν ίδιο για όλες τις περιπτώσεις του Interarrival Time.

### ➤ 3.2 AODV εφαρμογή

- ❖ Στην πρώτη περίπτωση, προσομοιώνουμε με το πρωτόκολλο AODV το Customer Application αλλάζοντας διαδοχικά το μέγεθος του πακέτου, ξεκινώντας από πακέτο μεγέθους 500 bytes, έπειτα 700 bytes και στο τέλος 900 bytes και διατηρώντας το Interarrival Time σταθερό (0.01 sec). Παρακάτω παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα με τα διαφορετικά μεγέθη πακέτων και τα συγκρίνουμε.

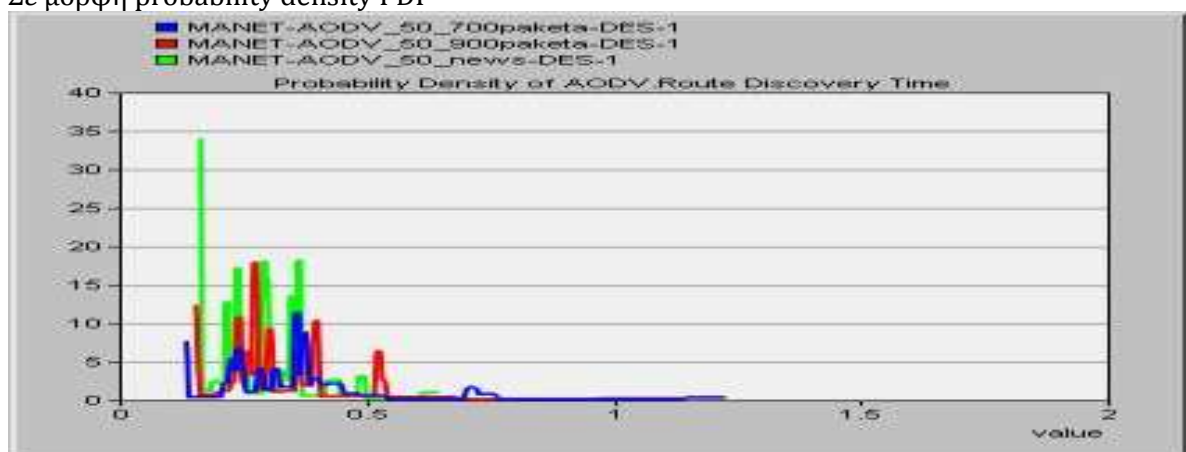
#### 3.2.6 Route Discovery Time

Σε μορφή average



Για μέγεθος πακέτου 500 bytes η καθυστέρηση ανακάλυψης διαδρομής είναι μικρότερη σε σχέση με τα πακέτα μεγέθους 700 και 900 bytes .

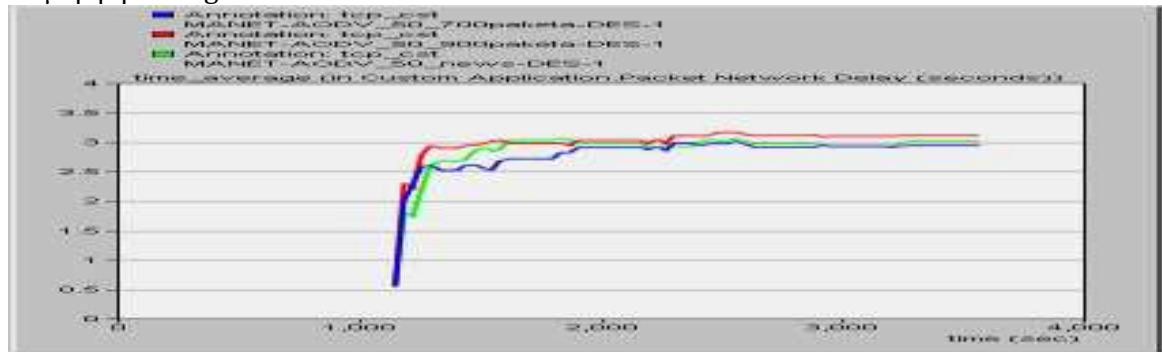
Σε μορφή probability density PDF



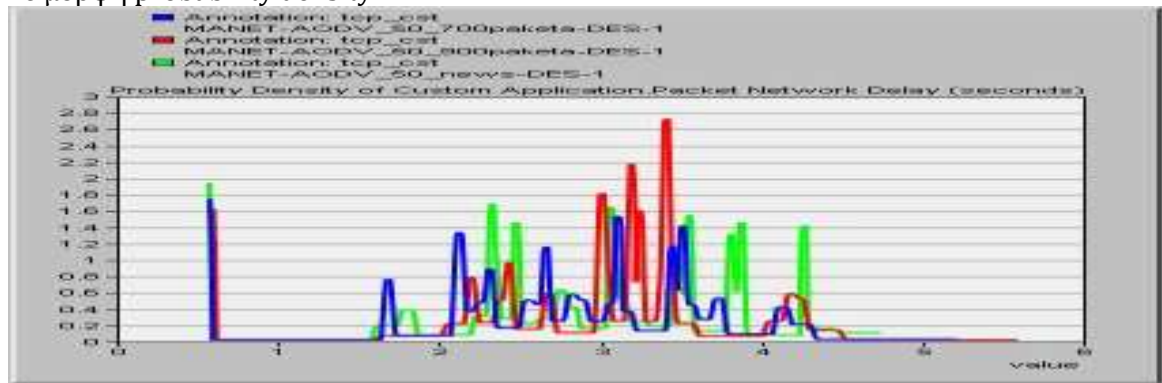
Φαίνεται στο παραπάνω σχήμα ότι η συνάρτηση κατανομής πυκνότητας πιθανότητας για τα πακέτα μεγέθους 500 bytes και 900 bytes είναι πιο συγκεντρωμένη στην αρχή του άξονα, δηλαδή γύρω από ένα μικρότερο εύρος τιμών, ενώ για το πακέτο μεγέθους 500 bytes είναι πολύ αραιωμένη.

### 3.2.7 Packet Network Delay(seconds)

Σε μορφή average



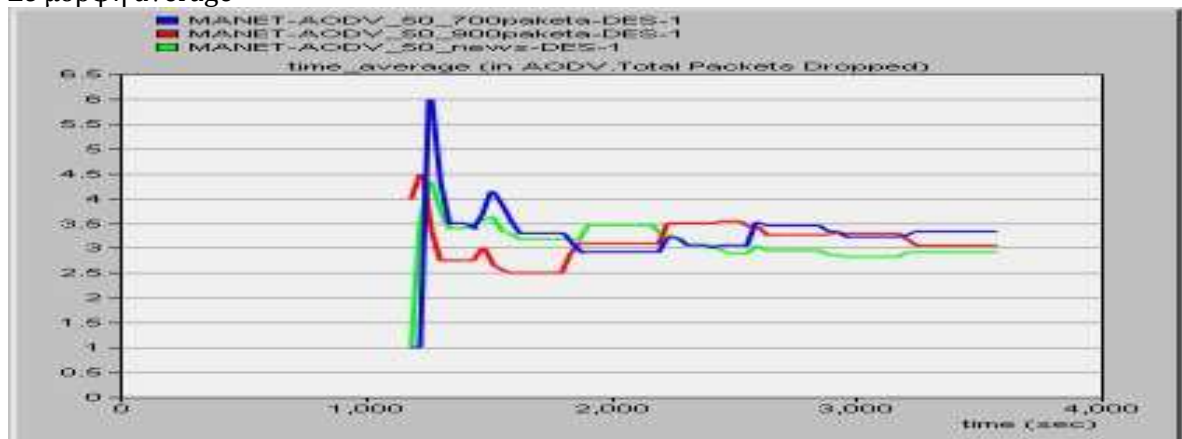
Σε μορφή probability density PDF



Παρατηρούμε ότι η καθυστέρηση δρομολόγησης των πακέτων εξαρτάται από το μέγεθός του. Στην περίπτωση των 900 bytes παρουσιάζεται μεγαλύτερη καθυστέρηση στο δίκτυο, ενώ για πακέτα μεγέθους 500 bytes και 700 bytes η καθυστέρηση αυτή μειώνεται.

### 3.2.8 Total Packet Dropped

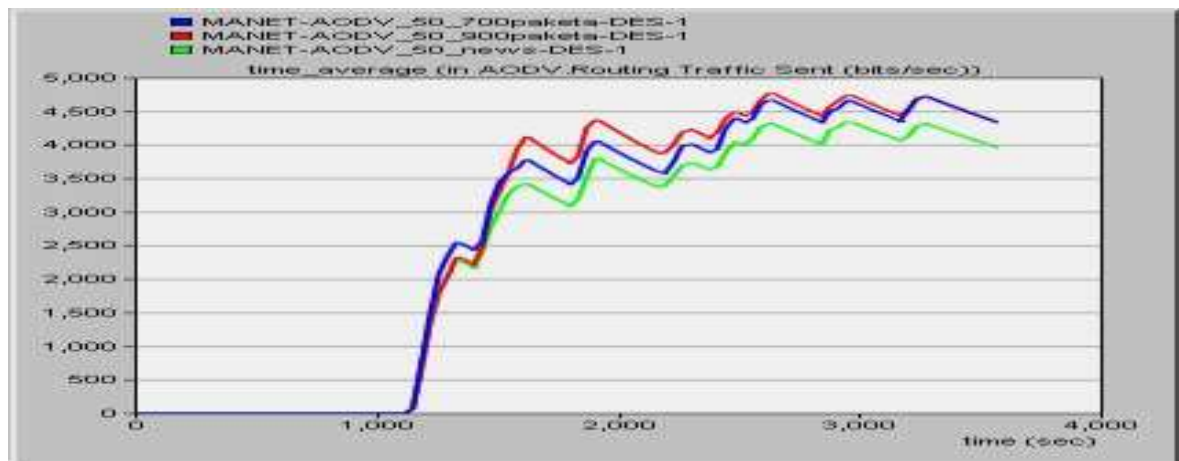
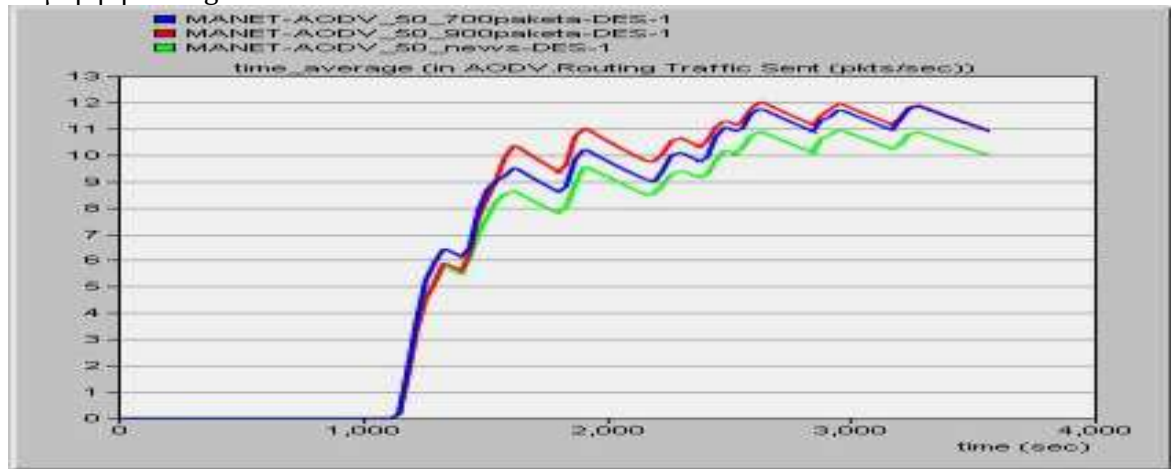
Σε μορφή average



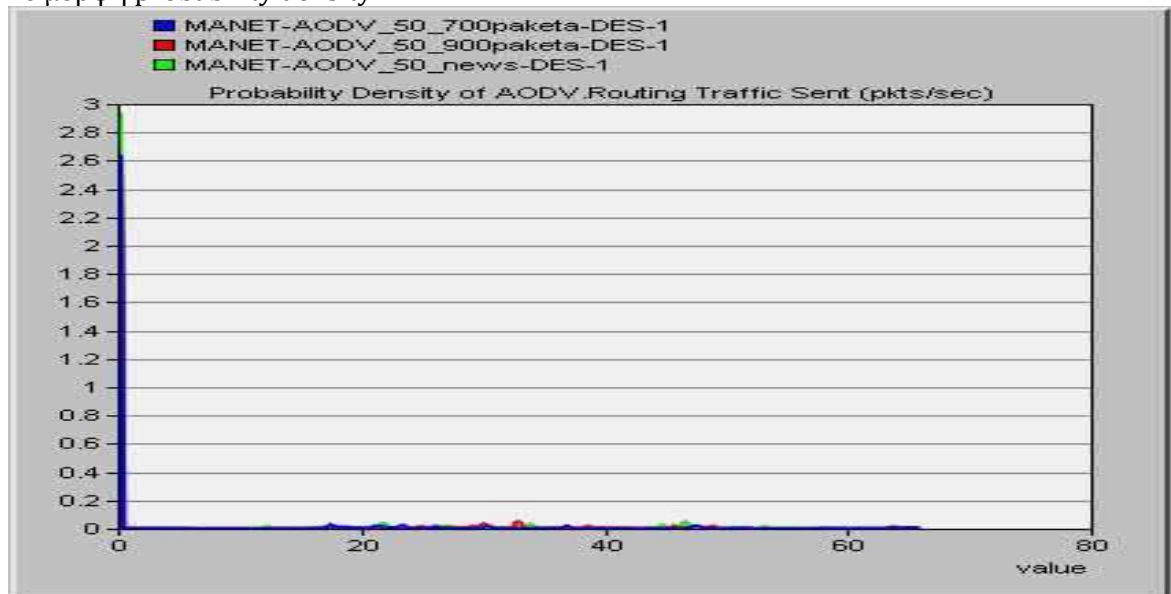
Όσον αφορά την απώλεια πακέτου (Total Packets Dropped), παρατηρούμε ότι τα πακέτα που είχαν μικρότερο Route Discovery Time (500 και 900 bytes) παρουσιάζουν μικρότερη απώλεια. Επομένως, μπορούμε να πούμε ότι το Route Discovery Time επηρεάζει περισσότερο την μετάδοση των πακέτων.

### 3.2.9 Routing Traffic Send(packets/sec και bits/sec)

Σε μορφή average



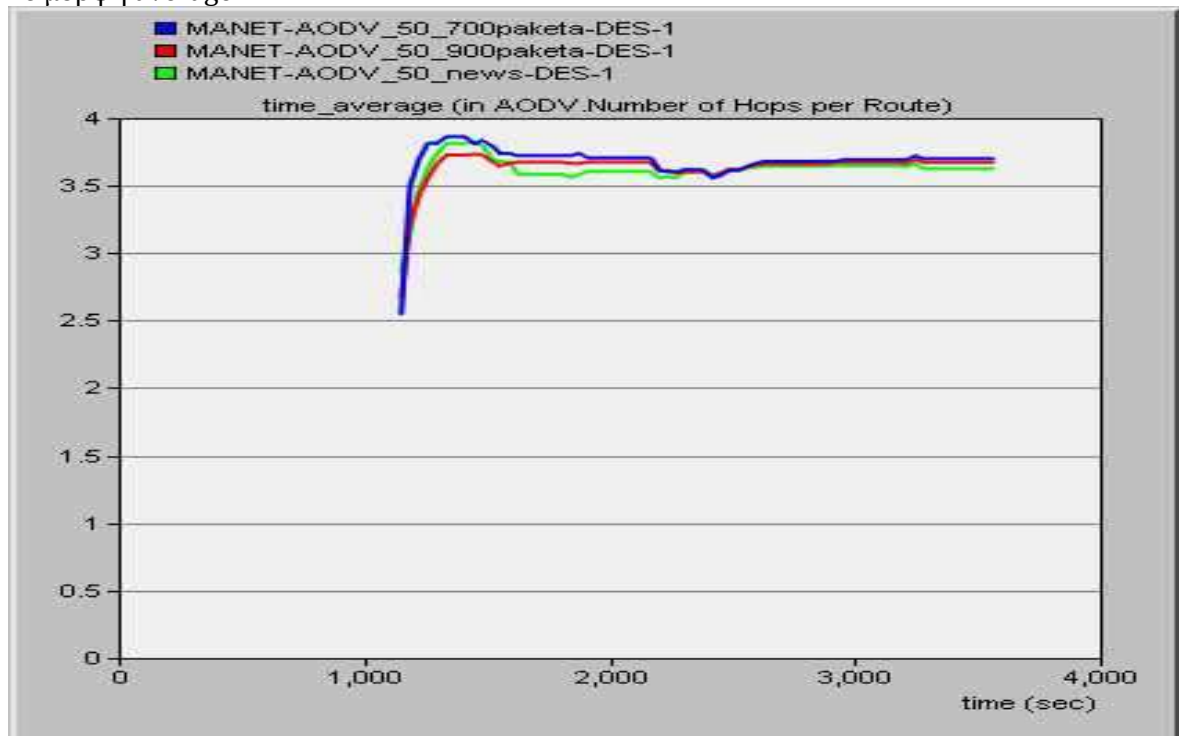
Σε μορφή probability density PDF



Παρατηρούμε ότι για πακέτα με μέγεθος 700 και 900 bytes δημιουργείται περισσότερη κίνηση( Routing Traffic Sent ) σε σχέση με πακέτα μέγεθους 500 bytes.

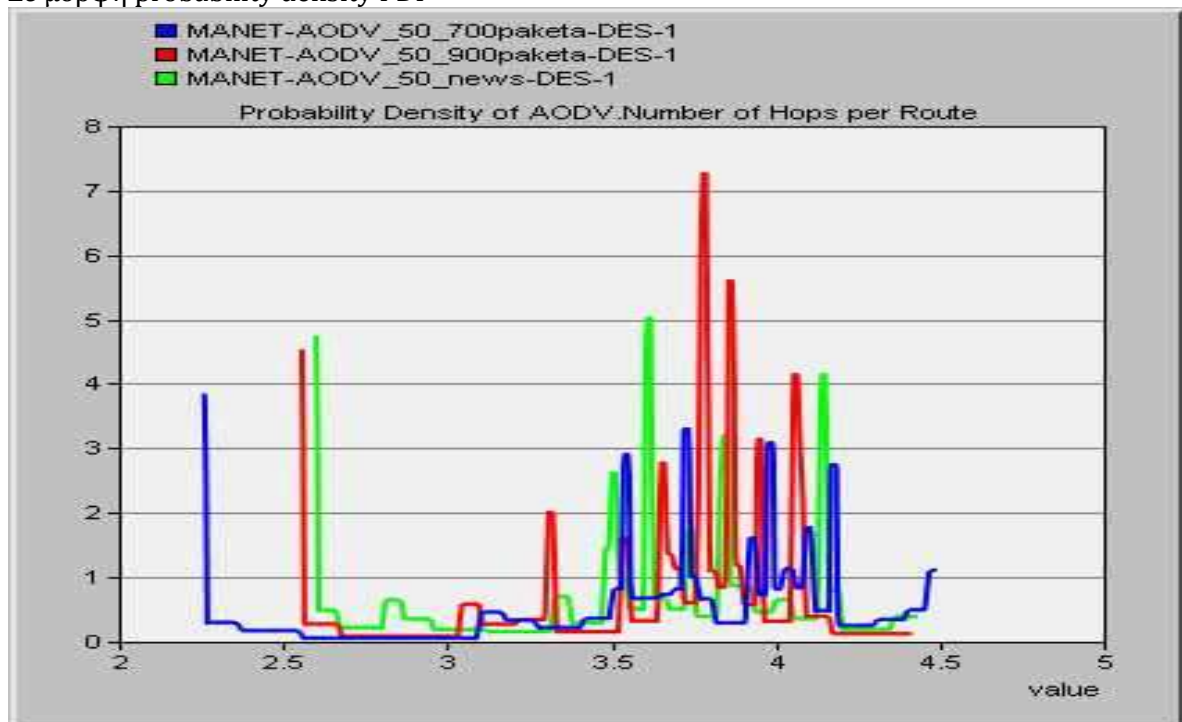
### 3.2.10 Number of Hops per Route

Σε μορφή average



Παρατηρούμε ότι το Number of Hops per Route είναι περίπου σταθερό για όλα τα μεγέθη πακέτου.

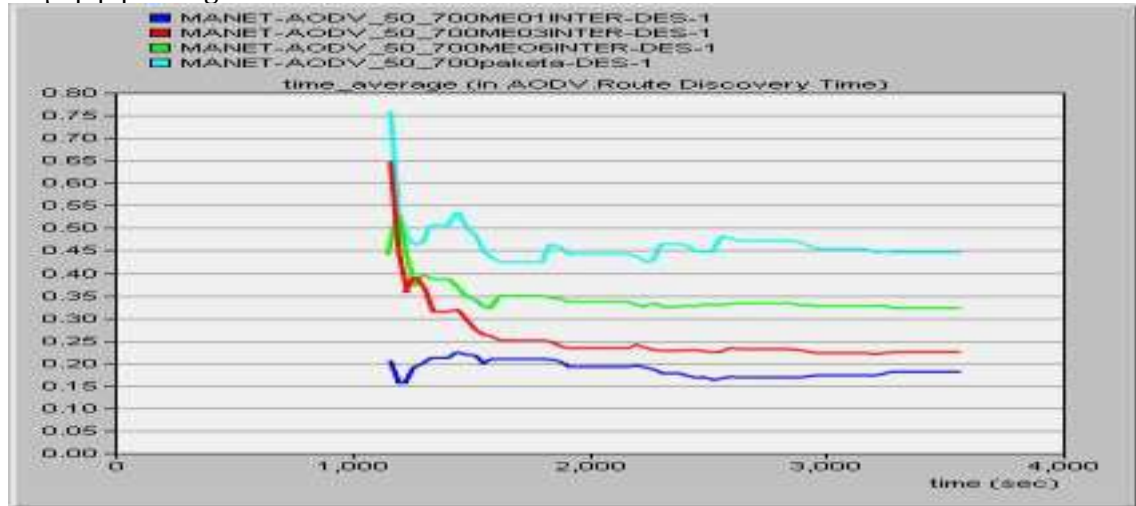
Σε μορφή probability density PDF



- ❖ Στην δεύτερη περίπτωση, προσομοιώνουμε με το πρωτόκολλο AODV το Customer Application αλλάζοντας διαδοχικά το Interarrival Time, ξεκινώντας από Interarrival Time 0.01 sec, έπειτα 0.1 sec , 0.3 sec και στο τέλος 0.6 sec. Κατά την διάρκεια της προσομοίωσης το μέγεθος του πακέτου παραμένει σταθερό (700 bytes). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

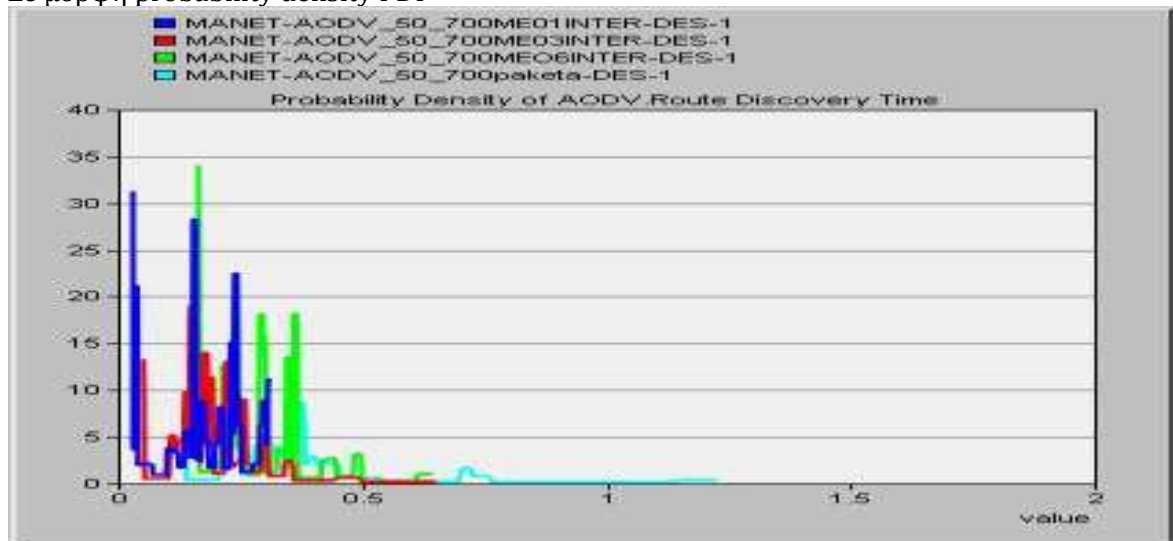
### 1.2.1 Route Discovery Time

Σε μορφή average



Παρατηρούμε ότι με Interarrival Time 0.1 sec έχουμε μικρότερο χρόνο ανακάλυψης διαδρομής δρομολόγησης. Η χειρότερη περίπτωση παρατηρείται όταν το Interarrival Time είναι ίσο με 0.01 sec.

Σε μορφή probability density PDF

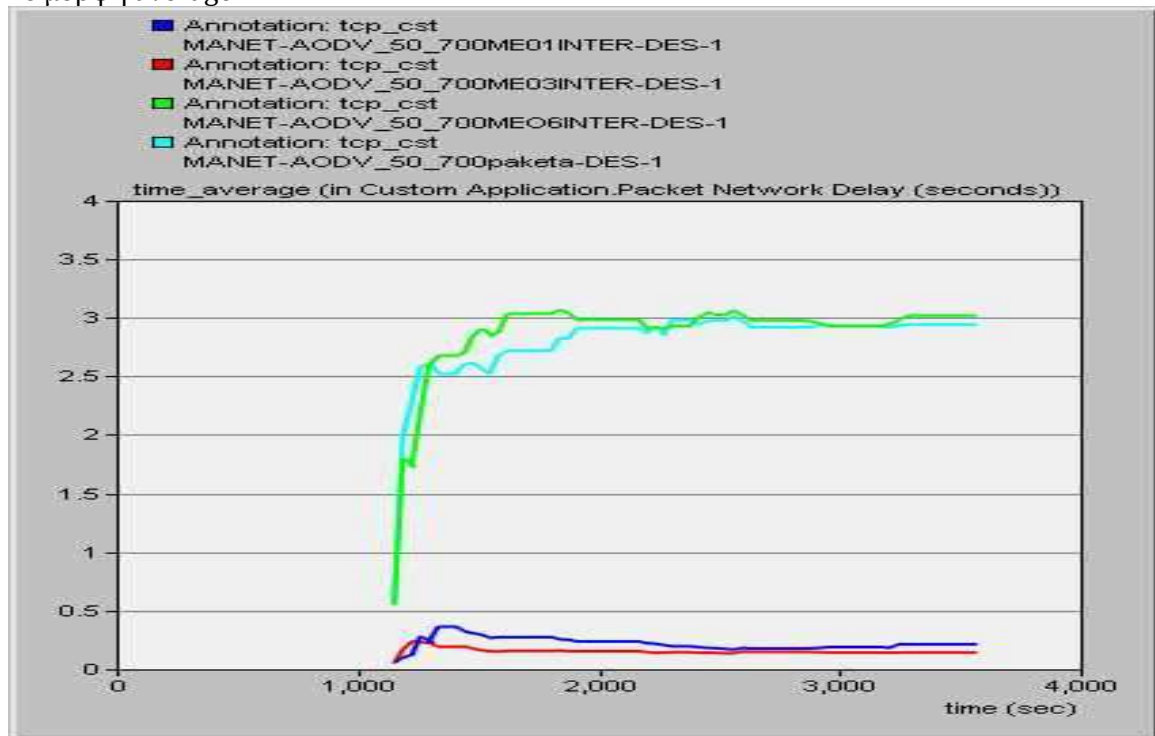


Φαίνεται στην πάνω γραφική ότι η συνάρτηση κατανομής πυκνότητας πιθανοτήτων για το πακέτο μεγέθους 700 bytes με Interarrival Time 0.1 sec είναι πιο συγκεντρωμένη σε ένα μικρό εύρος τιμών, ενώ στις άλλες περιπτώσεις είναι πολύ αραιωμένη.

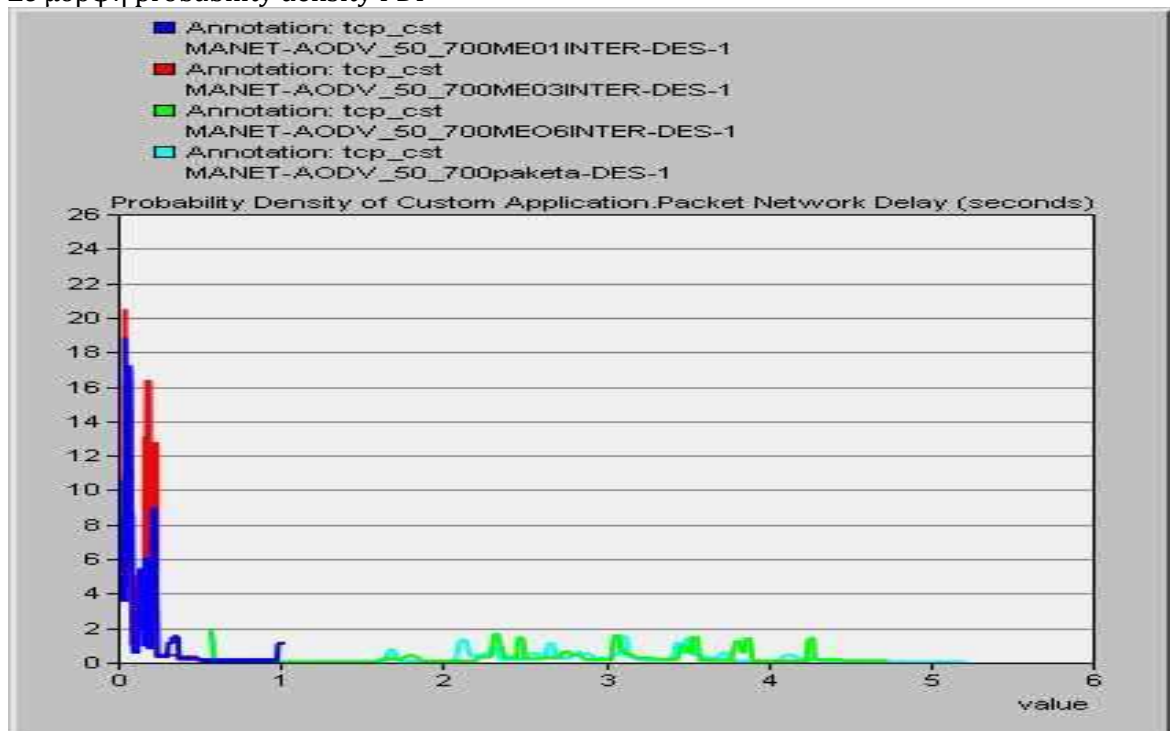


### 1.2.2 Packet Network Delay(seconds)

Σε μορφή average



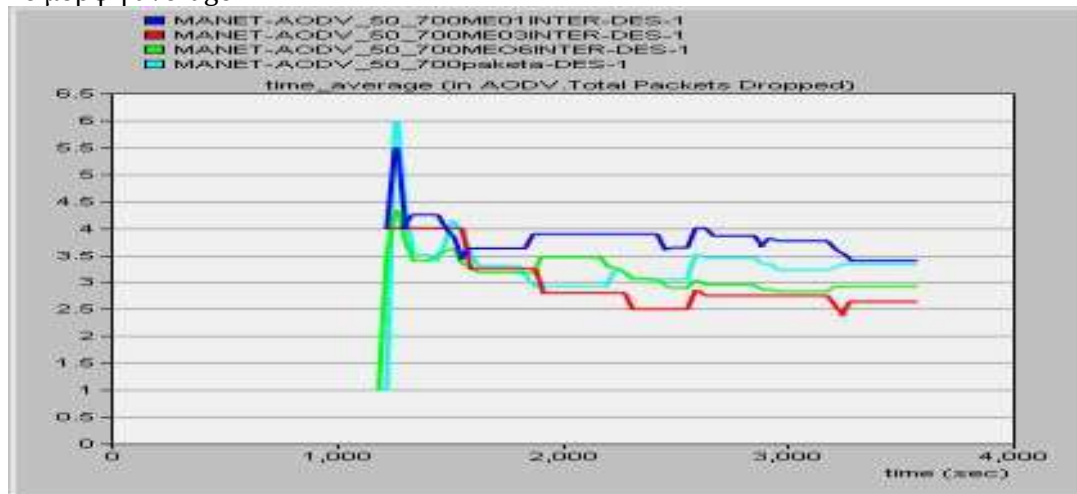
Σε μορφή probability density PDF



Τα πακέτα με Interarrival Time 0.1 ή 0.3 sec συμπεριφέρονται καλύτερα (δηλαδή έχουν μικρότερη καθυστέρηση δρομολόγησης) στο δίκτυο σε σχέση με εκείνα με Interarrival Time 0.01 ή 0.6 sec.

### 1.2.3 Total Packet Dropped

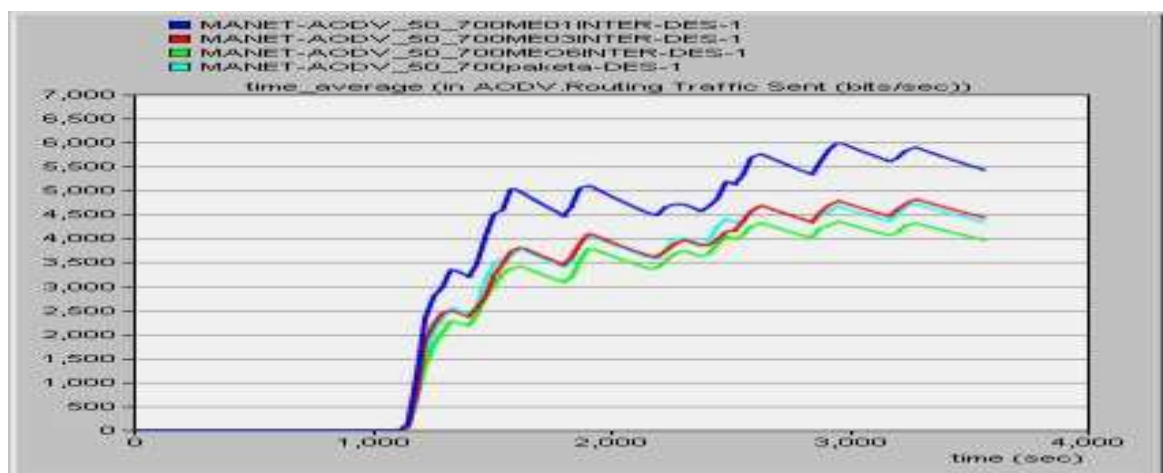
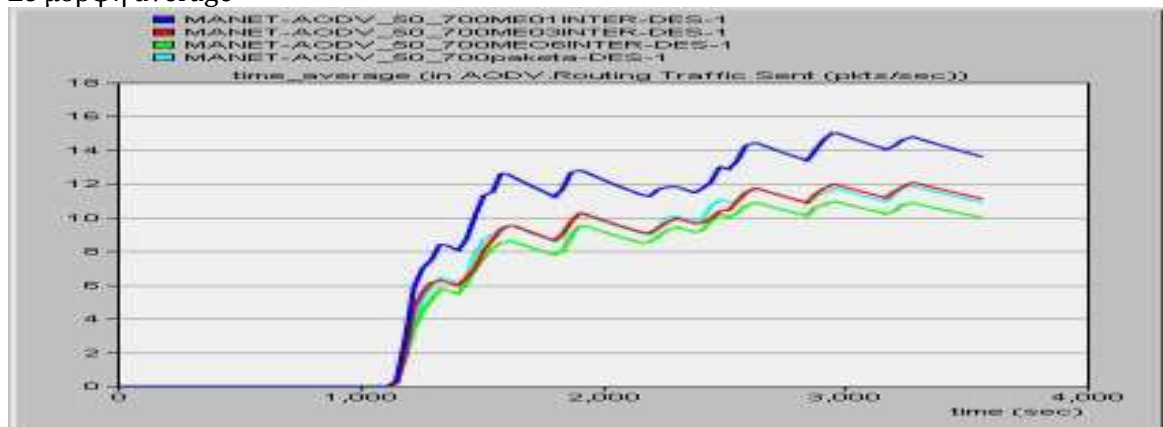
Σε μορφή average



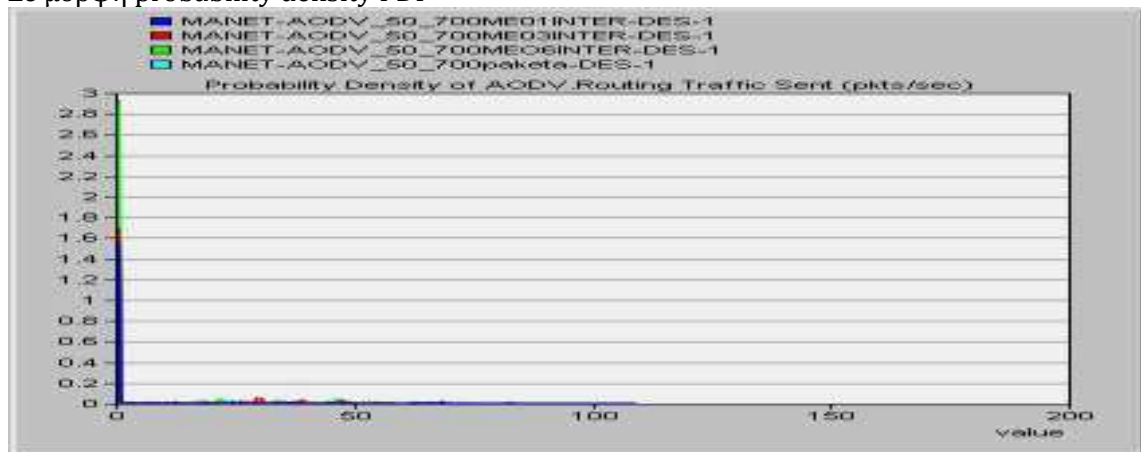
Όσον αφορά τον αριθμό των απορριπτόμενων πακέτων (Total Packets Dropped), έχουμε ένα μικρότερο ποσοστό απορρίψεων στην περίπτωση του Interarrival Time 0.3 ή 0.6 sec (δηλαδή όσο μεγαλώνει το Interarrival Time, τόσο μικραίνει το ποσοστό των απορρίψεων).

### 1.2.4 Routing Traffic Send(packets/sec και bits/sec)

Σε μορφή average



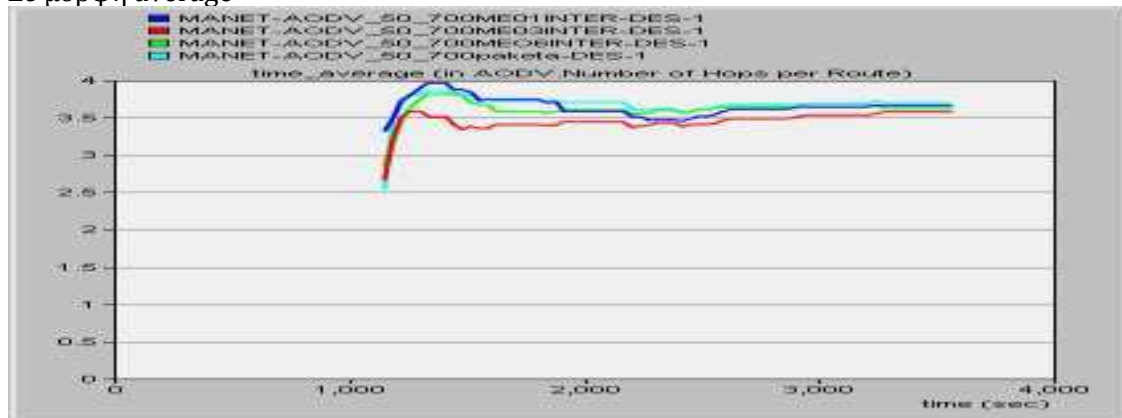
Σε μορφή probability density PDF



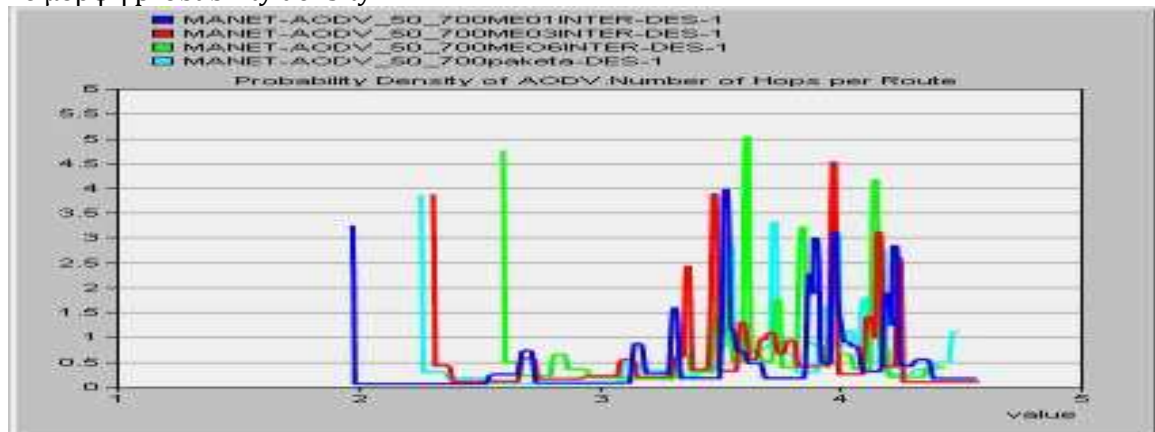
Παρατηρούμε ότι τα πακέτα με Interarrival Time 0.1 ή 0.3 sec στέλνονται σε μεγαλύτερο αριθμό. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην μικρότερη καθυστέρηση που έχουν μέσα στο δίκτυο(Packet Network Delay) και επίσης στο μικρότερο Routing Discovery Time.

#### 1.2.5 Number of Hops per Route

Σε μορφή average



Σε μορφή probability density PDF



Το Number of Hops per Route σε όλες τις περιπτώσεις είναι περίπου το ίδιο.

## Κεφάλαιο 6

# ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



---

### ❖ Περιεχόμενα :

- 6.1 Συμπεράσματα
  - 6.2 Μελλοντική μελέτη
-

## 6.1 Συμπεράσματα

Με βάση το προηγούμενο κεφάλαιο (κεφάλαιο 5) της πειραματικής μελέτης, εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα, όπου αξιολογούμε τα δύο πρωτόκολλα δρομολόγησης MANET (AODV και DSR) πάνω σε μια **ON/OFF** μορφή κίνησης με βάση τα ακόλουθα κριτήρια :

### ➤ Η καθυστέρηση πακέτου στο δίκτυο (Packet Network Delay)

Για οποιοδήποτε μέγεθος πακέτου κατά την δρομολόγησή του στο δίκτυο, όταν ο χρόνος μεταξύ μετάδοσης διαδοχικών πακέτων (Interarrival Time) είναι πολύ μικρός, το πρωτόκολλο δρομολόγησης AODV επιτυγχάνει καλύτερα αποτελέσματα, λόγω της μικρής καθυστέρησης δρομολόγησης πακέτου που εμφανίζει στο δίκτυο. Σε αντίθετη περίπτωση (δηλαδή όταν το Interarrival Time γίνεται πιο μεγάλο) δεν είναι επιθυμητή η δρομολόγηση με βάση το AODV, αλλά αντίθετα το καταλληλότερο πρωτόκολλο δρομολόγησης είναι το DSR, το οποίο εμφανίζει μικρότερη καθυστέρηση δρομολόγησης πακέτου.

### ➤ Ο χρόνος ανακάλυψης νέας διαδρομής δρομολόγησης (Route Discovery Time)

Για οποιοδήποτε μέγεθος πακέτου, με οποιοδήποτε Interarrival Time μεταξύ διαδοχικών πακέτων, το πρωτόκολλο δρομολόγησης DSR πάντα εμφανίζει μικρότερο χρόνο ανακάλυψης διαδρομής δρομολόγησης και επομένως είναι το επιθυμητό πρωτόκολλο με βάση αυτό το κριτήριο.

### ➤ Η συνολική απώλεια πακέτου (Total Packet Dropped)

Όσον αφορά την συνολική απώλεια πακέτου, το πρωτόκολλο DSR παρουσιάζει μικρότερη απώλεια πακέτου στο δίκτυο, όταν το Interarrival Time μεταξύ διαδοχικών πακέτων είναι πολύ μικρό, αλλά για μεγαλύτερο Interarrival Time το πρωτόκολλο DSR δεν παρουσιάζει απώλεια κατά την δρομολόγηση των πακέτων. Επομένως, το πρωτόκολλο αυτό υπερέχει στην περίπτωση της δρομολόγησης πακέτου μικρού ή μεγάλου μήκους με οποιοδήποτε Interarrival Time. Επειδή κάθε φορά που χρειαζόμαστε να στείλουμε πακέτο, ο στόχος μας είναι να έχουμε όσο το δυνατόν λιγότερη ή να μην έχουμε καθόλου απώλεια κατά την διάρκεια της δρομολόγησης από άκρο σε άκρο, μπορούμε να πούμε ότι το DSR είναι το πλέον κατάλληλο για μια αξιόπιστη δρομολόγηση σε ένα δίκτυο με ON/OFF μορφή κίνησης.

### ➤ Ο μέγιστος αριθμός των κόμβων από τους οποίους περνάει ένα πακέτο για να φτάσει στο προορισμό του (Number of hops per Route)

Το πρωτόκολλο AODV παρουσιάζει μικρότερο αριθμό βημάτων που κάνει ένα πακέτο για να φτάσει στον παραλήπτη, εμφανίζει όμως μεγαλύτερη απώλεια πακέτου κατά την διάρκεια δρομολόγησης πακέτου από άκρο σε άκρο, κάτι το οποίο θέλουμε να αποφύγουμε διότι δεν μας συμφέρει.

### ➤ Τα λαμβανόμενα πακέτα (Traffic Received)

Παραπάνω έχουμε παρατηρήσει ότι σε ένα δίκτυο με μια μορφή κίνησης **ON/OFF**, το πρωτόκολλο δρομολόγησης DSR δεν παρουσιάζει απώλεια πακέτου στο δίκτυο κατά την δρομολόγηση πακέτου (με οποιοδήποτε μήκος) με μεγάλο Interarrival Time μεταξύ διαδοχικών πακέτων, ενώ παρουσιάζει πολύ μικρή απώλεια όταν το Interarrival Time είναι πολύ μικρό. Άρα, σε ένα δίκτυο με δημιουργούμενη **ON/OFF** κίνηση η επιλογή του

πρωτοκόλλου DSR κρίνεται αναγκαία, αφού οι απώλειες πακέτων σχεδόν μηδενίζονται (για το ίδιο ποσοστό δημιουργίας κίνησης, το ποσοστό των λαμβανόμενων πακέτων είναι ίσο (ή περίπου ίσο) με το ποσοστό των σταλμένων πακέτων).

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων όπου έχουμε δημιουργία **ON/OFF** μορφής κίνησης, το πρωτόκολλο δρομολόγησης που επιτυγχάνει καλύτερη επίδοση στην δρομολόγηση πακέτου είναι το DSR, διότι με αυτό το πρωτόκολλο κερδίζουμε :

- ✓ Μια γρήγορη ανακάλυψη διαδρομής δρομολόγησης πακέτου στο δίκτυο.
- ✓ Λιγότερη ή καθόλου απώλεια ανάλογα με το Interarrival Time μεταξύ διαδοχικών πακέτων στο δίκτυο κατά την δρομολόγηση πακέτου.
- ✓ Το ποσοστό των λαμβανόμενων πακέτων στο δίκτυο είναι ίσο (ή περίπου ίσο) με εκείνο των σταλμένων.

## **6.2 Μελλοντική Μελέτη**

Λόγω του ότι στην παρούσα διπλωματική εργασία η ταχύτητα των κόμβων μεταβάλλεται με αποτέλεσμα η συμπεριφορά του δικτύου να χαρακτηρίζεται απρόβλεπτη, μπορεί να αναπτυχθεί πάλι ένα δίκτυο (Ad Hoc) με περισσότερους κόμβους, όπου οι κόμβοι δημιουργίας ON/OFF κίνησης να έχουν πολύ μικρή ή καθόλου κινητικότητα και οι κόμβοι λαμβανόμενης κίνησης να έχουν μια μεταβαλλόμενη κινητικότητα.

Επομένως, με βάση την παραπάνω περιγραφή, μπορεί να μελετηθεί την επίδραση της ON/OFF κίνησης πάνω στα δύο διαφορετικά πρωτόκολλα MANET (AODV και DSR).



## **Βιβλιογραφία**

- [1] Μ. Ε. ΘΕΟΛΟΓΟΥ “ Δίκτυα κινητών και προσωπικών επικοινωνιών” , 2008.
- [2] John Wiley & Sons “ Wireless Sensor Network Design “, 2003.
- [3] Andrew S. Tanenbaum, “Computer Networks”, 2003 Fourth Edition, ISBN 960-209-689-6.
- [4] C.S. Raghavendra, Krishna M, Sivalingam and Taieb Znati “Wireless Sensor Networks”, 2006.
- [5] Nirupama Bulusu, Sanjay Jha “Wireless Sensor Networks A Systems Perspective”, 2005 Artech House.
- [6] “Ad Hoc Networks : Technologies and Protocols”, 2005 Springer.
- [7] Qinghua Wang, “ Traffic Analysis, Modeling and Their Applications in Energy-Constrained Wireless Sensor Networks”, Department of Information Technology and Media Mid Sweden University, Doctoral Thesis No. 78 Sundsvall, Sweden, 2010.
- [8] Λιβάθινος Νικόλαος, “Δομημένη Δρομολόγηση σε Ασύρματα Ad Hoc Δίκτυα”, μεταπτυχιακή εργασία , 2006.
- [9] Ashish Shresstha, “Investigation of MANET routing protocols for mobility and scalability “, School of computing, Engineering and Physical Sciences, University of Central Lancashire Preston, UK.
- [10] Julia Hsu, Sameer Bhatia, Ken Tang, Rajive Bagrodia, Scalable Network Technologies, Inc., Culver City, CA . Michael J. Acrkhe US ARMY RDECOM CERDEC STCD, “ PERFORMANCE OF MOBILE AD HOC NETWORKING ROUTING PROTOCOLS IN LARGE SCALE SCENARIOS”, MILCOM 2004 – 2004 IEEE Military Communications Conference.
- [11] Suhaimi Bin Abd Latif, M.A. Rashid, F. Alam, “ Profiling Delay and Throughput Characteristics of Interactive Multimedia Traffic over WLANs using OPNET” , School of Engineering Institute of Technology & Engineering, Massey University, Auckland, New Zealand.
- [12] David B. Johnson David A. Maltz Josh Broch, “ DSR : The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks”, Computer Science Department Carnegie Mellon University Pittsburgh, PA 15213-3891.
- [13] S. Gowrishankar, T.G. Basavaraju, M. Singh, Subir Kumar Sarkar, “ Scenario based Performance Analysis of AODV and OLSR in Mobile Ad Hoc Networks”, Jadavpur University, Acharya Institute of Technology India.
- [14] OPNET modeler 14.5 Documentation.
- [15] Opnet Technologies. Inc. “ Opnet Simulator, “ Internet: [www.opnet.com](http://www.opnet.com) .
- [16] OPNET Technologies, Inc. “HOW TO : Design Mobile Ad Hoc Networks and Protocols”, January 23, 2007 .
- [17] Vahid Nazari Talooki & Koorush Ziarati, “ Performance comparison of Routing Protocols For Mobile Ad Hoc Networks”, Dept. of Computer Science and Engineering, School of Engineering, Shiraz University.

- [18] Hossein Ashtiani, Mohsen Nikpour, Hamed Moradipour, "A Comprehensive Evaluation of Routing Protocols for Ordinary and Large-Scale Wireless MANETs", 2009 IEEE International Conference on Networking, Architecture, and Storage.
- [19] N. Adam, M. Y. Ismail, J. Abdullah, "Effect of Node Density on Performances of Three MANET Routing Protocols", 2010 International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications (ICEDSA2010).
- [20] Liqi Shi, Abraham Fapojuwo, Neil Viberg, Wendy Hoople, Norbert Chan, "The Effectiveness of Qos Constrained AODV Routing for Voice Support in Multi-hop IEEE802.11 Mobile Ad Hoc Networks", 2009 IEEE Communications Society.
- [21] M. F. Juwad and H. S. Al-Raweshidy, "OPNET Performance Comparisons between SAODV&AODV", Wireless Network Communication Group (WNCG), Brunel University .
- [22] Chad Bohannon, Li Zhang, Jian Tang, Richard S. Wolff, Shen Wan, Neeraj Gurdasani and Doug Galarus, "Qos Enhancement and Performance Evaluation of Ad Hoc Routing Protocols for Rural Public Safety", 2009 IEEE Communications Society.
- [23] M Shahidul Hasan, Hongnian Yu, Alison Griffiths, and T C Yang, "Co-simulation framework for Networked Control Systems over multi-hop mobile ad-hoc networks", Proceedings of the 17<sup>th</sup> World Congress The International Federation of Automatic Control Seoul, Korea, July 6-11, 2008.
- [24] Nadia Qasim, Fatin Said, Hamid Aghvami, "Mobile Ad Hoc Networking Protocols Evaluation through Simulation for Quality of Service", IAENG International Journal of Computer Science, 36:1, IJCS\_36\_1\_10 .
- [25] Diane Kiwior and Lucas Lam, "Routing Performance over Intermittent Links", The MITRE Corporation Bedford, MA .
- [26] G. Amoussou, B. L. Agba, Z. Dziong, M. Kadoch, F. Gagnon, "Performance Analysis of mobile ad hoc routing protocols under realistic mobility and power models", Dept. of Electrical Engineering, Ecole de Technologie Supérieure.
- [27] Singh Annapurna and Mishra Shailendra, "Performance Analysis of Reactive Routing Protocols in Mobile Ad hoc Networks", IJCNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.10 No.8, August 2010 .
- [28] M S Hasan, Hongnian Yu, Alison Griffiths and T C Yang, "Simulation of Distributed Wireless Networked Control Systems over MANET using OPNET", Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, LONDON, UK, 15-17 April 2007.
- [29] Fan Ya-qin, Fan Wen-yong, Wang Lin-zhu, "OPNET-based network of MANET routing protocols DSR Computer Simulation", 2010 WASE International Conference on Information Engineering.
- [30] Nuru I. Sarkar, Wilford G. Lol, "A Study of MANET Routing Protocols: Joint Node Density, Packet Length and Mobility", School of Computer and Mathematical Sciences, Auckland University of Technology.
- [31] Anipakala Suresh, "Mini project : Performance Analysis of Ad hoc On-demand Distance Vector routing (AODV) using OPNET Simulator", Bremen, 11<sup>th</sup> April 2005, Communication Networks , University of Bremen.